ELEKTRIE

1|87

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

0120326

Zur Zeit noch im Fachbuchhandel erhältlich

Von Dr. sc. techn. Wolfgang Hauschild und Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Mosch.
268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln, Leinen, DDR 28,— M, Ausland 40,— DM.
Bestellangaben: 553 208 6/Hauschild, Statistik

Die Anwendung der mathematischen Statistik gewinnt in der Elektrotechnik ständig an Bedeutung. Jedoch erfordert die Lösung zahlreicher fachspezifischer Probleme eine unmittelbare Verknüpfung von angewandtem Fachwissen und Methoden der mathematischen Statistik. Dieses Buch will dem Elektrotechniker hierbei eine Hilfe sein und ihn gleichzeitig zur Grundlagenliteratur der mathematischen Statistik hinführen. Auf Grund der Tatsache, daß Methoden der mathematischen Statistik auf dem Gebiet der Hochspannungs- und elektrischen Isoliertechnik bereits in großem Umfang angewendet werden, ist der Stoff an Beispielen aus diesem Gebiet zusammengestellt. Zielstellung der Autoren bei der Erarbeitung dieses Buches war es, Studenten und in der Praxis tätigen Elektroingenieuren ein Hilfsmittel auf dem Gebiet der mathematischen Statistik fachbezogen und anwendungsbereit zur Verfügung zu stellen, um mit möglichst geringer Einarbeitungszeit umfassende, aussagekräftige Ergebnisse — insbesondere aus den notwendigen und oft sehr kostspieligen Experimenten — zu gewinnen. Es soll darüber hinaus Anregungen für die Anwendung statistischer Methoden geben und damit Möglichkeiten der Rationalisierung und Effektivitätssteigerung der Ingenieurarbeit eröffnen. Das Buch wird also immer dann besonders nützlich sein, wenn es gilt, experimentelles Material möglichst umfassend auszuwerten. Bei der Abfassung des Manuskripts wurde großer Wert auf die bildliche Darstellung erläuterter Zusammenhänge gelegt. Jedes Verfahren wird durch mindestens ein Beispiel belegt.

Aus dem Inhalt des Buches:

Grundlagen im Überblick. Wahrscheinlichkeitstheoretische Grundbegriffe. Verteilungsfunktionen. Ausgewählte theoretische Verteilungsfunktionen. Grundzüge von Korrelation und Regression. Ausgewählte Testverfahren

Planung, Durchführung und Auswertung von Messungen. Auswahl von Meßverfahren, Versuchsparametern und Prüfanlagen. Konstantspannungsversuche zur Ermittlung der Verhaltensfunktion. Spannungssteigerungsversuche zur Ermittlung der Summenhäufigkeitsfunktion. Verfahren zur Ermittlung ausgewählter Quantile

Statistische Bewertung standardisierter Prüfverfahren. Zielstellungen und Problematik der Isolationskoordination. Nachweis von Nennstehwechsel- und Nennstehgleichspannungen. Nachweis von Nennstehimpulsspannungen. Hinweise zur Bemessung von Isolierungen

Statistische Beschreibung des Isoliervermögens. Wahl der Zufallsgröße. Luftisolierungen. Druckgasisolierungen. Flüssigkeitsisolierungen. Feststoffisolierungen. Zur Statistik von Teilentladungen

Vergrößerungsgesetze Problematik. Statistische Grundlagen. Anwendung auf theoretische Verteilungsfunktionen. Diskrete parallele Entladungsstellen. Flächeneffekt. Volumeneffekt. Zeiteffekt.

Einige Urteile der Fachpresse:

„Für alle auf dem Gebiet der Elektrotechnik Tätigen eine hervorragende Möglichkeit, mathematische Statistik in praktischer Anwendung zu verstehen, zu erlernen und für die Lösung eigener Aufgaben zu nutzen".
Energietechnik, Leipzig

„Den Verfassern ist eine klare, umfassende und didaktisch hervorragende Darstellung der Problematik gelungen".
ETZ Elektrotechnische Zeitschrift, Offenbach

„Eine hervorragende Grundlage sowohl für die Forschung, Lehre und Weiterbildung als auch unentbehrlich für die Praxis".
Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Zürich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

1|87 ELEKTRIE

41. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Ober-Ing. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Das Ziel künftiger Entwicklungsarbeit besteht darin, das Qualitätsniveau der Erzeugnisse in Einheit mit dem Produktivitätsniveau der Technologie weiter zu erhöhen.
Unser Bild zeigt die Herstellung moderner energieökonomischer Natriumdampf-Hochdrucklampen, die vorwiegend in der Straßenbeleuchtung der DDR zum Einsatz gelangen und zunehmend für den Export produziert werden.
Die Aufsätze in diesem Heft beziehen sich auf Probleme und Ergebnisse dieser Entwicklungsarbeit.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhaltsverzeichnis

Seite

Aktuelle Information 2

Gündel, H.; Liewald, H.

Zu Fragen der besseren Verwertung wissenschaftlich-technischer Neuerungen in der Lichttechnik 3

Fachaufsätze

Wolff, J.

Zur Breitenwirkung der Lichtausbeute-Erhöhungen von Lichtquellen 4

Steldinger, G.; Bürgel, R.

Ein neuer Spiegelscheinwerfer aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" 7

Schade, P.; Serger, K.; Sämisch, H.

Werkstoffprobleme bei der Entwicklung neuer Lichtquellen 8

Bruseberg, R.; Harnisch, W.

Elektronisches Netzteil für Halogenniedervoltlampe 12 V/50 W 11

Heinze, J.; Scheckenreuter, B.; Streibel, G.

Wiederaufbereitung von Doppelrohrlampen 13

Sonnenburg, R.; Gündel, H.

Dynamische Modellierung von Leuchtstofflampenplasmen 15

JAHRESINHALTSVERZEICHNIS 1986 (40. Jahrgang) 17

Umschau

31. Session der CIGRE 1986 25

Bücher 38

AKTUELLE INFORMATION

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) — aus der Sicht der Starkstromtechnik

Informationstagung

Zeit: 4. Juni 1987
Ort: Hohenstein-Ernstthal, Kreiskulturhaus Logenstraße
Veranstalter: Bezirksfachausschuß „Elektrotechnische Anlagen" beim BV Karl-Marx-Stadt der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte

— Beeinflussung von
- Automatisierungsanlagen
- Informationsanlagen
- Signalübertragungsanlagen
- MSR-Anlagen

durch
- Starkstromanlagen
- Blitzschutzanlagen
- äußere Einwirkungen

Anfragen

Kammer der Technik
Tagungsorganisation
Tel.: 62141
Karl-Marx-Stadt, 9001

G. Heliosch, Karl-Marx-Stadt EA 2407

Die Technische Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg führt vom 1. bis 16. September 1987 die Wissenschaftlichen Tage 1987 durch und außerdem folgende wissenschaftliche Veranstaltungen:

- 2. Studentenkonferenz der Sektion Apparate- und Anlagenbau
  17. und 18. Februar 1987
- Elektrofotografie und nichtkonventionelle Bildtechnologien
  6. Fachtagung
  2. bis 5. März 1987
- Elektroantriebs- und Elektroautomatisierungstechnik
  6. Fachtagung
  23. und 24. April 1987
- Fortschritte bei der Konstruktion und Berechnung von Ausrüstungen des Chemieanlagenbaus
  7. Fachtagung
  17. und 18. Juni 1987
- Materialökonomie und flexible Prozeßautomatisierung durch effektive Fügeverfahren
  10. Fachtagung Fügetechnik
  30. September und 1. Oktober 1987
- Aktuelle Aufgaben und Erkenntnisse des Anlagenexportes
  2. Fachtagung Anlagenexport
  22. und 23. Oktober 1987
- Ausrüstungen für die Metallurgie
  VIII. Kolloquium
  3. bis 5. November 1987
- Meßtechnik thermischer und hydraulischer Größen
  2. Fachtagung
  11. bis 13. November 1987
- Baumaschinen
  Internationale Fachtagung
  17. bis 19. November 1987

Anfragen

Technische Hochschule
„Otto von Guericke" Magdeburg
Tagungsbüro
Postschließfach 124
Magdeburg
3010

J. Vogel, Magdeburg EA 2327

Ruhende und schaltende elektrische Kontakte, Kontaktbauelemente und Verbindungstechniken der Schwach- und Starkstromtechnik

— Entwicklung/Einsatz/Instandhaltung

VIII. Kontakttagung der DDR

im Rahmen der Karl-Marx-Städter Tage der Wissenschaft und Technik 1987

Zeit: 19. bis 21. Mai 1987
Ort: Technische Universität Karl-Marx-Stadt
Veranstalter: Wissenschaftsbereich Passive elektrische Bauelemente und das Weiterbildungszentrum Mikroelektronik der Sektion Physik/Elektronische Bauelemente der TU Karl-Marx-Stadt

Die Tagung dient der Vermittlung und Diskussion neuer internationaler und nationaler Erkenntnisse über die Verhaltensweise von elektrischen Kontakten und Kontaktbauelementen.

Inhaltliche Schwerpunkte:

— Probleme und Entwicklungstendenzen bei Steckverbindern, Relais, Schaltelementen, Tasten und Tastaturen, Leistungsschaltern (Plenarvorträge)
— Probleme und Entwicklungstendenzen des Edelmetallbedarfs (Plenarvorträge)
— Wissenschaftliche Grundlagen elektrischer Kontakte (Plenarvortrag)
— Physikalische und chemische Grundlagen elektrischer Kontakte
— Schaltvorgänge an Kontakten, Schaltkreisanalysen
— Plasma- und Elektrodenprozesse
— Fremdschichtbildung, Fremdschichtanalyse
— Materialwanderung und Erosion
— Elektronische Schaltprinzipien zur Realisierung kontaktstückloser Schalter
— Werkstoffprobleme, Edelmetalleinsparung
— Konstruktive Probleme, Verbindungstechniken
— Technologische Probleme
— Zuverlässigkeit, Ausfallmechanismen, Fehleranalysen
— Elektrische, physikalische, physikalisch-chemische Meßtechnik an Kontakten
— Klimaprüfung
— Einsatzprobleme an Kontaktbauelementen
— Instandhaltungsprobleme
— HF-Kontakte
— Impulsverhalten von Kontakten

Anfragen

zur Organisation der Tagung:
Weiterbildungszentrum Mikroelektronik der TU Karl-Marx-Stadt

Tel.: 56130 56

für Vortragsanmeldungen

Technische Universität Karl-Marx-Stadt
Sektion Physik/Elektronische Bauelemente
VIII. Kontakttagung der DDR
— Tagungsleiter —

PSF 964
Karl-Marx-Stadt
9010

H. Höft, Karl-Marx-Stadt EA 2340

Die Redaktion wünscht für 1987
allen Lesern, Mitarbeitern, Autoren, Beiratsmitgliedern und Korrespondenten
zum Jahreswechsel
alles Gute, persönliches Wohlergehen, Erfolg in der Arbeit
und weiterhin eine gute Zusammenarbeit.

Zu Fragen der besseren Verwertung wissenschaftlich-technischer Neuerungen in der Lichttechnik

Von

Prof. Dr. sc. Harald Gündel

Direktor des Forschungszentrums für Lichttechnik

Dr. oec. Horst Liewald

Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Generaldirektors im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"

Die konsequente Durchsetzung der neuen Etappe der ökonomischen Strategie, d.h. die Verwirklichung der umfassenden Intensivierung im lichttechnischen Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg", gipfelt im Hervorbringen und in der Anwendung wissenschaftlich-technischer Neuerungen mit hohen ökonomischen Ergebnissen. Die Fähigkeit, erstens hohe wissenschaftliche Ergebnisse zu erreichen und zweitens sie durch neue Technologien und neue Erzeugnisse ökonomisch wirksam zu machen, bestimmt auch das ökonomische Entwicklungstempo des Kombinates NARVA.

Dabei geht es zunehmend um komplexe wissenschaftlich-technische Innovationen, die mit grundlegenden technologischen Veränderungen verbunden sind.

Diesem Erfordernis entspricht der dem Kombinat NARVA erteilte Staatsauftrag „Entwicklung und rationelle Fertigung neuer energiesparender Lichtquellen", zum Beispiel energiesparender kompakter Entladungslampen kleiner Leistung mit Elektronik.

Hier sind Erzeugnisinnovationen, die unter anderem das Eindringen der Mikroelektronik in das Finalprodukt beinhalten müssen, auf das engste mit technologischen Prozeßinnovationen zu verknüpfen.

Derartig grundlegende und komplexe Neuerungsprozesse reichen demnach vom Vorstoß in Neuland bis hin zur technologischen Reife und sind verbunden mit der Schaffung modernster technologischer Ausrüstungen.

Da es also sowohl um neue Erzeugnisgenerationen als auch um weitgehend vorbildfreie technologische Systeme geht, die nicht in serienmäßig hergestellten Maschinen materialisiert und kaufbar sind, muß das Kombinat selbst den Prozeß des Ringens um Spitzenleistungen und um die Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Produktion führen und dabei den Eigenbau immer mehr forcieren. Das ist seine ureigenste Aufgabe und zählt zu seiner volkswirtschaftlichen Eigenverantwortung.

Um diese Aufgabe bewältigen zu können, muß eine breite Basis für die ökonomisch effektivste Entwicklung und Anwendung der Schlüsseltechnologien und für die effektive Erneuerung der Produktion geschaffen werden durch

- Intensivierung der Vorlaufforschung im Rahmen des Forschungszentrums für Lichttechnik und Vertiefung der Kooperation mit Einrichtungen der Akademie der Wissenschaften und des Hochschulwesens, wofür mit den beiden wichtigsten Kooperationspartnern, dem Forschungsbereich Physik der Akademie der Wissenschaften und der Humboldt-Universität zu Berlin, Koordinierungsverträge abgeschlossen wurden
- Schaffung rechnergestützter Arbeitsplätze in Forschung, Entwicklung, Technologie und Maschinenkonstruktion
- Herausbildung solcher Proportionen zwischen den Kapazitäten für Forschung, Erzeugnis- und Verfahrensentwicklung und denen für die Überleitung wissenschaftlich-technischer Ergebnisse in die Produktion, die die notwendigen hohen Erneuerungsraten sichern. Eine hohe Wirksamkeit von Wissenschaft und Technik und ihr organisches Zusammenführen mit der Produktion erfordern die Einheit von Erzeugnis-, Verfahrens- bzw. Technologieentwicklung und Rationalisierungsmittelbau in bisher nicht gekannter Schärfe. Dabei steht die Aufgabe, den eigenen Rationalisierungsmittelbau so zu entwickeln, daß damit die Einführung neuer Erzeugnisse reibungslos realisiert werden kann. Er ist das entscheidende Kettenglied für die Materialisierung vieler wissenschaftlich-technischer Leistungen und sichert letztlich erst die Voraussetzungen für eine auf die Einheit von Erzeugnis- und Verfahrensentwicklung abgestimmte Grundfondsreproduktion. Die Wirksamkeit des Rationalisierungsmittelbaus ist dann sehr groß, wenn er in seiner inneren Struktur auf die Anwendung modernster Technologien ausgerichtet ist.

Welchen Erfordernissen unterliegt nun die Kette Forschung — Erzeugnis- und Verfahrensentwicklung — Rationalisierungsmittelbau in der lichttechnischen Industrie?

Wir haben es in der Lichtquellenindustrie mit Erzeugnissen zu tun, die in kurzen Taktzeiten bis zu 6000 Stück je Stunde produziert werden.

Die dabei eingesetzten Technologien sind zum Teil recht anspruchsvoll. Das drückt sich aus zum Beispiel in hoher Präzision bei der Verbindung metallischer Werkstoffe, der Sicherung von Vakuumhygiene, der Beherrschung komplizierter Fügetechniken für sehr unterschiedliche Materialien, wie Metall-Glas und Metall-Keramik, der Vermeidung von Verunreinigungen, der Herstellung von Drahtmaterialien mit Verunreinigungen im PPM-Bereich, der Beherrschung von Prozessen mit aggressiven Medien, der Anwendung mikrorechnergestützter Steuerungen für Prozeßabläufe und Integration von Computertechnik für die Qualitätssicherung. Für Fertigungsprozesse dieser Art gibt es gegenwärtig auch international kaum

Zur Breitenwirkung der Lichtausbeute-Erhöhungen von Lichtquellen

J. Wolff, KDT, Berlin

Die Erhöhung des energiewirtschaftlichen Wirkungsgrades der Beleuchtung gehört zu den grundlegenden Entwicklungslinien der lichttechnischen Erzeugnisse [1]. Sie ist deshalb seit Jahren in unserer Volkswirtschaft wesentlicher Bestandteil der komplex geplanten und organisierten Veränderungen in Wissenschaft und Technik und wird über Staatsaufträge geleitet. Das volkswirtschaftliche Gewicht wird dadurch charakterisiert, daß der Elektroenergieverbrauch für die Beleuchtung in der DDR größenordnungsmäßig 10% der Elektroenergieerzeugung und damit wertmäßig einige Milliarden Mark jährlich beträgt. Damit ergeben sich auch Einsparungen im Energieverbrauch für die Beleuchtung, sofern sie mit entsprechender Breitenwirkung durchgesetzt werden, in relevanten Dimensionen.

Der Schwerpunkt für die Erhöhung des energiewirtschaftlichen Wirkungsgrades der Beleuchtung liegt in der Steigerung der Lichtausbeute der Lichtquellen sowie in der Strukturverschiebung zugunsten eines hohen Einsatzanteils energieökonomischer Lichtquellen [2]. Die Veränderungen schlagen sich in einem Prozeß der Umgestaltung großer Anwendungsgebiete mit einer Vielzahl von Brennstellen nieder, der schrittweise und differenziert verläuft [3]. So erfolgen gegenwärtig und in Zukunft als wesentliche Teilprozesse

- die Umstellung in der Straßen- und Außenbeleuchtung von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen auf Natriumdampf-Hochdrucklampen mit einer mittleren Energieeinsparung von etwa 40% je Brennstelle
- in den Einsatzgebieten der Leuchtstofflampe in Industrie-, Verwaltungs- und Gesellschaftsbauten ein Übergang auf Typen verringerter Leistungsaufnahme entsprechend der Erhöhung der Lichtausbeute
- im Wohnbereich und in Gesellschaftsbauten die Einführung kompakter Leuchtstofflampen verschiedener Formen anstelle konventioneller Glühlampen.

Diese Umgestaltungsprozesse in den verschiedenen Anwendungsgebieten der Beleuchtung stellen Langzeitvorgänge dar, die sich über mehrere Fünfjahrplanzeiträume erstrecken. Sie haben eine beträchtliche Breitenwirkung, und ihre Geschwindigkeit ist im Prinzip durch die technisch-ökonomische Neuoptimierung der Beleuchtung mittels neuer lichttechnischer Erzeugnisse bestimmt. Deshalb ist ihre Geschwindigkeit nicht allein abhängig von der Bereitstellung der neuen Lichtquellen und Leuchten, sondern auch vom materiellen und ökonomischen Verschleiß der vorhandenen Beleuchtungsanlagen.

Dabei sind alle Maßnahmen zur Beschleunigung der Umstellung darauf gerichtet, den neuen Erzeugnissen nicht nur zur technischen Existenz, sondern auch zur ökonomischen Lebensfähigkeit zu verhelfen.

Zur Erläuterung des letztgenannten Gesichtspunktes sei hinsichtlich der Glühlampenablösung durch kompakte Leuchtstofflampen daran erinnert, daß z. B. die Preisbildung für die neuen Erzeugnisse auch die verschiedenen Energiepreise im gesellschaftlich-industriellen Bereich und in der Versorgung der Bevölkerung berücksichtigen muß.

Dr. rer. nat. *Joachim Wolff* ist Abteilungsleiter für Forschung und Entwicklung im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" Berlin.

flexible Automatisierungslösungen. Das heißt, die Fertigung einer echt neuen Lichtquelle erforderte bisher in der Regel den Aufbau einer völlig neuen Fertigungstechnik.

Mit der zunehmenden Diversifizierung der Lichtquellenerzeugnisse — beispielsweise muß mit einer Mannigfaltigkeit glühlampenersetzender Lichtquellen gerechnet werden — ist es künftig nicht mehr vertretbar, für jedes Erzeugnis eine eigene Maschinenfließreihe aufzubauen.

Notwendig sind flexible Maschinensysteme, die es gestatten, zum Beispiel das komplette Hochdrucklampensortiment auf Keramikbasis einschließlich der Typen kleiner Leistung für einen Glühlampenersatz zu fertigen.

Sowohl die Umsetzung anspruchsvoller Technologien als auch die Realisierung flexibler Automatisierungslösungen verlangen die Beachtung neuer, qualitativer Aspekte im Sondermaschinenbau für die Lichtquellenfertigung.

Der Sondermaschinenbau ist demnach nicht schlechthin nur ein Mittel zur Rationalisierung, sondern unabdingbare Voraussetzung jeder echten wissenschaftlich-technischen Neuerung in der Lichtquellenindustrie. Die Lichtquellenindustrie ist daher im Grunde nicht nur ein Teil der Elektrotechnik, sondern auch des Maschinenbaus. Damit ergibt sich auch ein hoher Korrelationsgrad zwischen Erneuerungsrate und Maschinenbaukapazität, der deutlich über dem Durchschnitt der Volkswirtschaft liegen dürfte. Gemessen an diesen Bedingungen hat das Kombinat NARVA noch nicht die richtigen Proportionen entwickelt.

Durch eigenes Forschungs- und Entwicklungspotential und über ein breites Netz an nationalen Kooperationsbeziehungen, mit denen die Aufgaben zur disziplinärvertieften Grundlagenforschung und zur Weiterentwicklung der Diagnostik und Meßtechnik sowie direkte Beteiligungen an Kombinatsthemen der Erzeugnis- und Verfahrensentwicklung realisiert werden, wird weitgehend die Erzeugnis- und auch die Verfahrensentwicklung im elektrotechnischen Teil des arbeitsteiligen Prozesses abgedeckt.

Auf dem Gebiet des Maschinenbaus gelingt das nur unzureichend. Es gibt auf diesem Gebiet kaum eine echte, der Maschinenkonstruktion vorgelagerte Maschinenentwicklung, geschweige denn eine Vorlaufforschung. Hierzu gehören zum Beispiel Grundsatzuntersuchungen zu solchen wichtigen, aber nicht lichtquellenspezifischen Fragen, wie automatisierte Montageprozesse, Transport- und Förderprozesse von Kleinteilen und Baugruppen, Meß-, Steuer- und Regelprozesse einschließlich Sensorik, thermische Prozesse, wie sie in Industrieöfen ablaufen, spezifische metallurgische Prozesse und Techniken der Werkstoffbearbeitung und Oberflächenveredlung, die auf nichtmechanischen Wirkprinzipien beruhen (Laser-, Plasma-, Hochvakuumtechnik).

Zu all diesen Problemkreisen gibt es an den Technischen Hochschulen der DDR und spezialisierten Fertigungsbereichen Lösungen, die es anzuwenden gilt. Unsere Erfahrungen der bereits praktizierten Zusammenarbeit auf dem Gebiet der für uns spezifischen Erzeugnis- und Verfahrensentwicklung mit wissenschaftlichen Einrichtungen sind entsprechend zu nutzen.

Gleichzeitig sind die Anstrengungen für eigene Vorlaufarbeiten auf dem Gebiet des Rationalisierungsmittelbaus einschließlich spezifischer Entwicklungsarbeiten für die technologischen Ausrüstungen zu verstärken, um dem Grundsatz, daß Spitzenerzeugnisse auch in Maschinen materialisierter Spitzentechnologien bedürfen, besser gerecht zu werden.

Das schließt ein, Entwicklungen durchzuführen, um zur Zeit noch in Anwendung befindliche mechanische Steuerungen durch mikroelektronische Steuerungen abzulösen und die Elektronik für den eigenen Maschinenbau unter Verwendung von Standardschaltkreisen der Mikroelektronikindustrie selbst herzustellen.

Indem wir den Rationalisierungsmittelbau mit großer Konsequenz in den wissenschaftlich-technischen Neuerungsprozeß integrieren, wird er zum entscheidenden Kettenglied im Intensivierungsprozeß, zum Zentrum moderner Technologie im Kombinat.

Zwischen Forschung, Technologie und Rationalisierungsmittelbau muß eine inhaltliche und auch organisatorische Einheit bestehen. Deshalb ist die Profilierung des im wesentlichen erzeugnisorientierten Forschungszentrums für Lichttechnik zu einem Zentrum für Forschung und Technologie mit einer fest zugeordneten Rationalisierungsmittelbaukapazität einschließlich Entwicklung und Konstruktion von technologischen Spezialausrüstungen als eine wesentliche Maßnahme zur Vervollkommnung der Leitung, Planung und Realisierung des wissenschaftich-technischen Fortschritts anzustreben und im Zusammenhang mit dem verstärkten Ausbau entsprechender Kapazitäten durchzusetzen. EA 5744

1. Entwicklung der Lichtausbeute

Die Breitenwirkung neuer Lichtquellen erhöhter Lichtausbeute ist als zeitlicher Prozeß und Zusammenspiel vorhandener und neuer Lichtquellen zu verstehen. Die Dynamik der lichttechnischen Entwicklung spiegelt sich in der Entwicklung der Lichtquellenarten und der mit ihnen erreichten Maximalwerte der Lichtausbeute wider (Bild 1). So erreichte die Glühlampe Lichtausbeutewerte von 15 lm/W, die Leuchtstofflampe steigerte ihre Lichtausbeutewerte von 40 auf 80 (in Einzelfällen 100) lm/W und die Hochdrucklampe entsprechend von 30 auf 130 lm/W. Es wurden im Verlaufe der Entwicklung die Maximalwerte der Lichtausbeute, wie die Hüllkurve zeigt, kontinuierlich und relativ rasch gesteigert und nähern sich asymptotisch dem theoretischen Grenzwert für weißes Licht (d.h. mit entsprechender Farbwiedergabe) bei etwa 250 lm/W an. Diese Analyse der jeweils erreichten Spitzenwerte erlaubt inzwischen erstaunlich zuverlässige prognostische Aussagen. So erwartete *Willoughby* [4] 1969 für 1983 eine maximale Lichtausbeute von etwa 120 lm/W, einen Wert, der inzwischen erreicht wurde. Heute sagt *Willoughby* [5] für das Jahr 2000 eine maximale Lichtausbeute von etwa 170 lm/W voraus. Die Entwicklung der Spitzenwerte der Lichtausbeute gehört also nicht nur zu den eindrucksvollen Demonstrationen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Beleuchtung, sondern liefert in der Einheit von Analyse und Prognose auch begründete Voraussagen zukünftiger Möglichkeiten.

Prüft man jedoch die praktische Wirksamkeit der Spitzenwerte der Lichtausbeute, ergibt sich ein wesentlich anderes Bild. Für derartige Untersuchungen hat *Švehla* [6] eine internationale Analyse auf der Grundlage der Mengen-Verhältnisse der eingesetzten Lichtquellen, ihrer Werte für Leistung, Lichtstrom sowie Lebensdauer und ihrer mittleren jährlichen Benutzungsdauerwerte durchgeführt. Im Ergebnis liegt der erreichte Mittelwert der Gesamtlichtausbeute bei etwa 30 bis 40 % der Maximalwerte der Lichtausbeute. Dieser Wert, der mit seiner Streubreite auch die Unsicherheiten seiner Ermittlung charakterisiert, ist offenbar auch für die DDR repräsentativ. Er zeigt die Reserven, die es für die Energieökonomie der Beleuchtung zu erschließen gilt.

Die Differenz zwischen Maximal- und Durchschnittswerten spiegelt gleichzeitig auch folgende Faktoren wider:

— Jede Neuentwicklung einer Lichtquelle erhöhter Lichtausbeute durchläuft von der Einführung bis zum durchgehenden Einsatz in ihrem spezifischen Einsatzgebiet eine Periode zunehmender Wirksamkeit bis zur vollständigen Ablösung der Vorgänger-Lichtquelle.

— Entsprechend der Spezifik der Anwendungsgebiete entwickelt sich eine zunehmende Differenzierung der Lichtquellen, d.h., neue Lichtquellen erhöhter Lichtausbeute werden zunehmend auf abgegrenzte Einsatzgebiete zugeschnitten und sind in wachsendem Maße auf diese Einsatzgebiete begrenzt und insgesamt nicht mehr austauschbar.

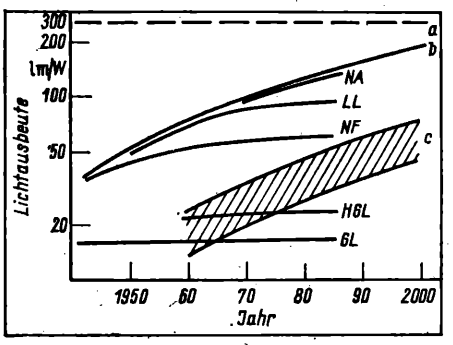
— Entwicklungsvorstöße mit Spitzenwerten, die schrittweise breitenwirksam gemacht werden, konzentrieren sich jeweils auf bestimmte Lichtquellen-Arten und bestimmte Anwendungsgebiete, so daß der Prozeß hier sehr ungleichmäßig verläuft, erst im Gesamtverlauf wieder eine kontinuierliche Entwicklung zeigt und damit eine analytisch-prognostische Auswertung ermöglicht.

2. Brennstellen und Ersatzbedarf

Die Beleuchtung gehört zu den Hauptverbrauchergruppen an Elektroenergie, jedoch setzt sie sich aus einer relativ hohen Anzahl von Verbrauchern, den einzelnen Brennstellen, zusammen. So muß man für die Beleuchtung der DDR mit mehr als 150 Millionen Brennstellen mit einer mittleren Leistung um 60 W gerechnet werden. Deshalb sind volkswirtschaftlich relevante Energieeinsparungen mit einem nicht zu unterschätzenden Umfang von Brennstellen-Umstellungen [2] verbunden, die zwar ökonomisch durch die Energieeinsparung getragen werden, aber technisch von der Bereitstellung der Erzeugnisse bis zur Umstellung der Brennstellen durch die Betreiber bewältigt werden müssen.

Leider verfügt unsere Energiewirtschaft praktisch über keine fundierten Analysen der Verbraucher (Brennstellen-Anzahl, jährliche Benutzungsdauer, Leistung) in den einzelnen Anwendungsgebieten der Beleuchtung, die der Umgestaltung der einzelnen Anwendungsgebiete zugrunde gelegt werden können. Derartige Analysen liegen lediglich für die Straßenbeleuchtung vor, und da stellt die Umstellung von Quecksilber-Hochdrucklampen auf Natrium-Hochdrucklampen einen relativ überschaubaren und organisierbaren, wenn

Bild 1
Entwicklung der Lichtausbeute
NA Natriumdampf-Hochdrucklampe
LL Leuchtstofflampe
NF Quecksilberdampf-Hochdrucklampe
HGL Halogen-Glühlampe
a theoretischer Grenzwert für weißes Licht bei 250 lm/W
b Hüllkurve der Maximalwerte der Lichtausbeute
c Bereich der erreichten Gesamt-Lichtausbeute



Tafel 1. Jährlicher Ersatzbedarf für Leuchten

	Für eine Leuchten-Lebensdauer von 10 Jahren in Mill. Stück/Jahr	von 20 Jahren in Mill. Stück/Jahr
Leuchtenersatzbedarf für Glühlampen	etwa 10	etwa 5
Leuchtenersatzbedarf für Leuchtstofflampen	etwa 5	etwa 2,5
Leuchtenersatzbedarf für Hochdrucklampen	etwa 0,4	etwa 0,2

auch nicht problemlosen Prozeß dar. Deshalb müssen für die anderen Gebiete Modellierungshilfen auf der Grundlage der jährlich für Ersatz und Neuanlagen zugeführten Lichtquellenmengen und ihrer Standardqualität geschaffen werden.

Wenn zur Vereinfachung davon ausgegangen wird, daß die jährliche Änderung der Brennstellenzahl wegen der Langsamkeit derartiger Änderungen in großem Maßstab vernachlässigbar ist, und dementsprechend mit konstanter Brennstellenzahl gerechnet werden kann, so ist die stationäre Brennstellenzahl n_B aus der jährlich zugeführten Lichtquellenmenge als Ersatzbedarf n_J zu errechnen:

$$n_B = n_J \frac{T}{t} \qquad (1)$$

T Lichtquellen-Lebensdauer
t jährliche Benutzungsdauer.

Dabei liegt eine wesentliche Unsicherheit in der jährlichen Benutzungszeit, die für verschiedene Brennstellen einer Lichtquellenart sehr stark schwanken kann. Insbesondere muß man für jede Lichtquellenart mit einer gewissen Brennstellenzahl rechnen, die wegen der geringen jährlichen Benutzungszeit kaum zum Energieverbrauch beiträgt, wie das Beispiel der Notbeleuchtung zeigt. In Ermangelung genauer Analysen müssen für die jährliche Benutzungsdauer geschätzte Mittelwerte auf der Grundlage eigener und international verwendeter Erfahrungswerte genügen. Ihre Unsicherheit von ± 20 bis 30 % überträgt sich damit voll auf die Ergebniswerte für die Brennstellen, die für die DDR auf folgende Werte führen:

— um 100 Millionen Brennstellen mit Glühlampen
— um 50 Millionen Brennstellen mit Leuchtstofflampen
— 3 bis 4 Millionen Brennstellen mit Hochdrucklampen.

Mit diesen Abschätzungen, die sich für einzelne Anwendungsgebiete weiter untersetzen lassen, wird auch die Größenordnung von Umstellungsprozessen in der Beleuchtung erkennbar. Jedoch sind die angegebenen Brennstellenzahlen als Mittelwert einer breit streuenden Verteilung zu verstehen, für die der jährliche Ersatzbedarf an Lampen entsprechend der jährlichen Benutzungsdauer breit streut.

Nach dem gleichen Prinzip läßt sich für den stationären Fall annähernd konstanter Brennstellenzahl der rechnerische Zusammenhang zwischen dem Ersatzbedarf von Lichtquellen und Leuchten (als einlampige Leuchten gerechnet) ermitteln, und es gilt für den jährlichen Ersatzbedarf an Leuchten n_{LJ}:

$$n_{LJ} = \frac{n_J}{t} \frac{T}{T_L} \qquad (2)$$

T_L Leuchten-Lebensdauer.

Aussage-Unsicherheiten für das Ergebnis sind durch Unsicherheits- und Verteilungsbreite der Primärdaten bedingt, die wie erwähnt, mit 20 bis 30 % einzuschätzen ist. Rechenergebnisse ohne detaillierte Primärdatenanalyse können als Abschätzung der Größenordnung

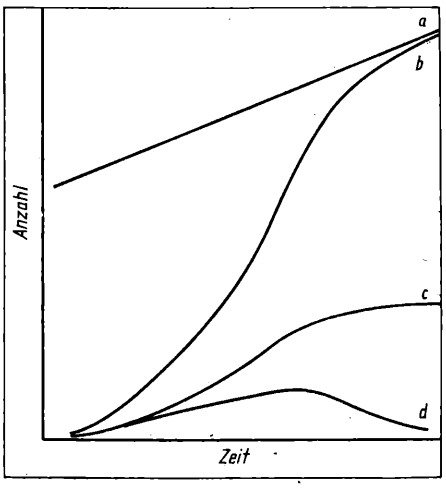


Bild 2
Schema der Umstellung eines Beleuchtungssystems auf eine neue Lichtquelle

a Entwicklung der Brennstellenzahl des Beleuchtungssystems
b Entwicklung der mit der neuen Lichtquelle ausgestatteten Brennstellenzahl (gleichzeitig auch Kurvenverlauf der erreichten Energieeinsparung)
c erforderliche jährliche Menge der neuen Lichtquellen
d Entwicklung der jährlich auf die neuen Lichtquellen umgestellten Brennstellenzahl
(ist gleich der erforderlichen jährlichen Leuchtenmenge für die Brennstellen-Umstellung)

betrachtet werden und sind insofern nicht ohne Aussagekraft. Für die DDR ergeben sich die Werte nach Tafel 1.
Auch diese Angaben sollen vor allem die Größenordnung und den quantitativen Zusammenhang mit dem Lichtquellen-Ersatzbedarf verdeutlichen, auf dem sich bei Kenntnis und Nutzung dieser Zusammenhänge in bestimmtem Umfang Brennstellenanalysen und Parameter ihrer Erhaltung aufbauen lassen. Sie sollen damit die Nützlichkeit derartiger Modellierungshilfen zeigen, die zunächst als sehr grob erscheinen, aus denen sich jedoch Schlußfolgerungen ableiten lassen, die über den Weg der Brennstellenanalysen leider nicht zur Verfügung stehen.

3. Umstellung auf neue Lichtquellen

Die vorstehende Betrachtung des Ersatzbedarfes an Lichtquellen und Leuchten für eine (annähernd) konstante Brennstellenzahl läßt keine direkten Rückschlüsse auf den Fall der Umstellung eines gesamten Anwendungsgebietes auf neue Lichtquellen zu. Dieser Prozeß ist aber für die Umstellung zum Beispiel der Straßenbeleuchtung auf Natrium-Hochdrucklampen oder eines Teils der Glühlampenbeleuchtung auf kompakte Leuchtstofflampen besonders interessant.
Eine entsprechende modellmäßige Betrachtung ergibt folgende Rekursionsformel für die Entwicklung des Lichtquellenbedarfs n_J im Jahre J, wenn in diesem Jahr $n_{B(J)} - n_{B(J-1)}$ Brennstellen neu geschaffen und gleichzeitig die im Jahre $J - i\frac{T}{t}$ (mit $i = 1, 2, 3, \ldots$) eingesetzten Lampen als Ersatzbedarf $\sum_i n_{J-i}\frac{T}{t}$ erforderlich werden:

$$n_J = n_{(B)J} - n_{B(J-1)} + \sum_i n_{J-i}\frac{T}{t}. \qquad (3)$$

Der skizzierte Fall, daß die Lichtquellen-Lebensdauer T ein ganzzahliges Vielfaches der jährlichen Benutzungsdauer t darstellt, läßt sich leicht auf den Fall beliebiger Verhältniszahlen T/t übertragen.
Dabei ist die im Jahre J neu geschaffene Brennstellenzahl $n_{B(J)} - n_{B(J-1)}$ gleichzeitig der im Jahre J auftretende Bedarf an (einlampigen) Leuchten, der allerdings nach Ablauf der Leuchten-Lebensdauer durch den Ersatzbedarf ergänzt werden muß.
Mit Hilfe obiger Rekursionsformel läßt sich modellmäßig der jährliche Lichtquellen- und Leuchtenbedarf für einen beliebigen Umstellungsablauf oder auch umgekehrt bei gegebener jährlicher Lichtquellenzuführung der Umstellungsablauf sowie der jährliche Leuchtenbedarf errechnen. Für praktisch wirksame Fälle können darüber hinaus selbstverständlich Bestandsbildung und andere Korrekturen der rechnerisch-theoretischen Aussagen ergänzt und einbezogen werden.
Mit der Rekursionsformel für den Umstellungsprozeß kann auf der Grundlage der in den einzelnen Jahren J jeweils kumulativ erreichten umgestellten Brennstellenanzahl $n_{B(J)}$ außerdem — unter Einbeziehung der elektrischen Leistung dieser Brennstellen mit den abgelösten Lichtquellen bzw. mit den neuen Lichtquellen erhöhter Lichtausbeute sowie der jährlichen Benutzungsdauer — auch die in dem betreffenden Jahr erreichte Energieeinsparung errechnet werden.
Als Beispiel zeigt Bild 2 einen berechneten Umstellungsprozeß, der unabhängig vom konkreten Bezug den Fortgang des Umstellungsprozesses, den stark wachsenden Lichtquellen-Ersatzbedarf und den ein gewisses Maximum durchlaufenden Leuchtenbedarf (neue Brennstellen) modellmäßig erkennen läßt. Entsprechend dem Verlauf des Umstellungsprozesses durchläuft die jährliche Energieeinsparung nach einer Einlaufperiode eine starke Steigerung und geht mit allmählichem Abschluß der Umstellung einem Sättigungswert entgegen. Dabei ist zu beachten, daß es sich bei den errechneten jährlichen Energieeinsparungen um Werte im Vergleich zum Startjahr handelt.
Das Berechnungsmodell wurde konkret auf die Umstellung der Straßenbeleuchtung auf Natrium-Hochdrucklampen sowie die Einführung kompakter Leuchtstofflampen zur Glühlampen-Ablösung angewendet. Darüber wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet. Die Modellierung ist von besonderem Wert für die Variantendurchrechnung mit Hilfe der modernen Rechentechnik.

4. Zusammenfassung

Um Vorgänge des breiten und forcierten Überganges auf neue energiesparende Lichtquellen und der dadurch errechenbaren Energieeinsparung in den Relationen der Bereitstellung lichttechnischer Erzeugnisse und der Umstellungsprozesse in Anwendungsgebieten komplex planen und organisieren zu können, ist die modellmäßige Berechnung der stationären Erneuerungsprozesse und des Umstellungsablaufes zweckmäßig.
Derartige Berechnungen benötigen nicht unbedingt genaue Analysen der betreffenden Anwendungsgebiete der Beleuchtung, sondern sie lassen sich auf Angaben der jährlichen Lichtquellen- und Leuchten-Bereitstellung aufbauen. Die Aussagegenauigkeit ist aber auch hier von bestimmten Anwendungskenndaten, insbesondere der jährlichen Benutzungsdauer, abhängig. Die Modellrechnungen liefern wesentliche Beiträge zur planmäßigen Beherrschung der Langzeit-Veränderungsprozesse in der Beleuchtung, wie sie Entwicklung und Einführung neuer Lichtquellen hoher Lichtausbeute darstellen. Sie bieten damit eine Grundlage für quantitative technische, organisatorische und ökonomische Schlußfolgerungen zur Bewältigung und Nutzung in Breite und zeitlichem Ablauf und damit für die Umsetzung von Festlegungen in den Standards für die Beleuchtung mit künstlichem Licht.

Literatur

[1] *Wolff, J.; Moritz, J.; Amende, R.; Conradt, K.-H.; Sievers, H.:* Erhöhung des energiewirtschaftlichen Wirkungsgrades in der Lichttechnik. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 12, S. 421 – 424
[2] *Wolff, J.; Conradt, K.-H.:* Elektroenergieeinsparung durch Erhöhung des Wirkungsgrades der Lichterzeugung. Sozialistische Rationalisierung in der Elektrotechnik/Elektronik 11 (1982) 3, S. 63 – 66
[3] *Wolff, J.:* Entwicklungsrichtungen zur Erhöhung der energiewirtschaftlichen Effektivität in der Beleuchtung. Energieanwendung 33 (1984) 6, S. 223 – 225
[4] *Willoughby, A. H.:* The evolution of electric lamps, Light. Res. & Technol. 1 (1969) No. 2, S. 69 – 77
[5] *Willoughby, A. H.:* Electric lamps — the first one hundred years and beyond, 20 th session CIE Light and lighting, Amsterdam 1983, B 5/1 — B 5/7
[6] *Švehla, J.:* TC — 4.9. Lighting economics report, 20 th session CIE Light and lighting, Amsterdam 1983, C 4/8 — C 4/11

EA 5745

Ein neuer Spiegelscheinwerfer aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"

G. Steldinger, KDT; R. Bürgel; Berlin

Höhere Beleuchtungsstärken bei gleichzeitiger Verringerung des Aufwandes an Elektroenergie erfordern die Entwicklung neuer Leuchten mit optimalen Wirkungsgraden. Ein Beitrag ist der neue Hochleistungsspiegelscheinwerfer N 1000 PH (Bild 1), der für die szenische Ausleuchtung aus Entfernungen zwischen 35 m und 150 m geeignet ist.

Der neue Scheinwerfer ist ein Spezialgerät für kulturelle Einrichtungen, dessen breiter Anwendungsbereich mit der Darstellung folgender Einsatzmöglichkeiten charakterisiert wird:

- Akzentbeleuchtung in einer bereits mit hohem Beleuchtungsniveau ausgeleuchteten Bühne
- Flächenausbeleuchtung einer kompletten Aktionsfläche aus großen Entfernungen
- Einsatz als Verfolgungsscheinwerfer für spezielle Fälle
- Ausleuchtung von Bühnen kultureller Einrichtungen mit extrem heller Wandgestaltung ohne Aufhellung dieser Wände (auf Grund der hohen Bündelungsfähigkeit und des geringen Streulichtes).

Das Hauptanliegen bei der Entwicklung dieses Scheinwerfers war eine hohe axiale Lichtstärke und eine möglichst geringe Masse. Besonderer Wert wurde auf die äußere Form gelegt, so daß sich das Gerät beim Einsatz im Zuschauerbereich harmonisch in die Umgebung eingliedert.

Bild 1
Hochleistungsspiegelscheinwerfer N 1000 PH

1. Konstruktiver Aufbau

Das Gehäuse des Scheinwerfers besteht aus einer zweifarbigen Stahlblechkonstruktion mit integrierter Ringblende und Schutzgitter. Im Gehäuse befindet sich ein doppelt geschliffener Glasparabolspiegel mit zentrischer Bohrung zur Durchführung der Lichtquelle nach hinten. Das Gerät ist mit einem abschraubbaren Lampenhalter mit Arretierstift zum verdrehungssicheren Wiedereinsetzen ausgestattet. Zum genauen und feinfühligen Fokussieren der Lampe ist der Fokussiertrieb als Spindeltrieb ausgeführt.

Der Scheinwerfer ist in einem verwindungssteifen Stahlrohrbügel neigbar gelagert und hat zwei unabhängig voneinander bedienbare Neigungsfeststeller, die es gestatten, das Gerät in engen Räumen zu installieren.

Es können folgende Hauptmerkmale zusammengefaßt werden:

- hohe Lichtstärke
- geringe Masse
- geringes Streulicht durch integrierte Ringblende
- geringe Gehäusetemperaturen
- leichter Wechsel von Farbfolienrahmen durch abklappbare Farbfolienrahmenhalter
- hohe Servicefreundlichkeit auf Grund der günstig gelösten Demontage- und Montagemöglichkeit des Gesamtgerätes
- günstig angeordnete Griff- und Bedienelemente.

Im Bild 2 ist die Lichtstärkeverteilungskurve dargestellt.

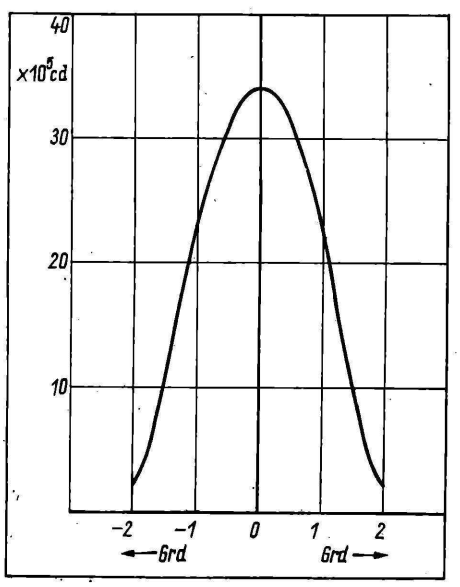


Bild 2
Lichtstärkeverteilungskurve N 1000 PH

2. Technische Daten

— Maximallichtstärke I_0 in cd:	3400000
— Halbstreuwinkel $\delta_{0,5}$ in °:	2,5
— Spiegel:	doppelt geschliffener Glasparabolspiegel ∅ 645 mm, f = 250 mm, mit zentrischer Bohrung ∅ 140 mm
— Schwenkbereich in °:	360
— Kippbereich in °:	+ 90 — 45
— Einschub für runde Farbfolienrahmen:	∅ 712 mm
— Schutzgrad:	IP 20
— Schutzklasse:	III
— Abmessungen in mm —	Länge: 550 Breite: 900; Höhe: 900;
— Anschlußleitung:	3,5 m lang
— Masse in kg:	32
— Lampenbestückung:	kuppenverspiegelte Lichtwurflampe C4 24 V/1000 W NARVA Lampen-Nr.: 62812 Φ = 25000 lm L = 100 h Sockel K39 d

Ferner sind analoge Lampen anderer Hersteller einsetzbar.

Mit dem Gerät steht dem Anwender ein hochwertiges Erzeugnis zur Verfügung.

Es ist das Anliegen des Kombinates VEB NARVA „Rosa Luxemburg", durch die weitere Abrundung des Erzeugnissortimentes den gewachsenen Forderungen an die Beleuchtungstechnik auf diesem Gebiet gerecht zu werden.

EA 5749

Ing. *Gerhard Steldinger* ist Abteilungsleiter für die Entwicklung elektrischer Leuchten. Ing. *Ralf Bürgel* ist Mitarbeiter für F/E im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg", Berliner Glühlampenwerk.

Werkstoffprobleme bei der Entwicklung neuer Lichtquellen

P. Schade, KDT; K. Serger; H. Sämisch, KDT; Berlin

Aus historischer Sicht ist die Entwicklung von Lichtquellen einerseits eng mit der Werkstoffentwicklung gekoppelt, andererseits durch neue Werkstoffe mit speziellen Eigenschaften sogar bestimmt worden. Beispielsweise legte die Entwicklung der Wolframdrahtherstellung für Glühlampen den Grundstein für die in den letzten Jahrzehnten erreichten Fortschritte auf dem Gebiet der Pulvermetallurgie für eine Vielzahl von Werkstoffen [1].
Energieökonomie und Rohstoffprobleme bedingen weltweit Lichtquellen mit höherer Lichtausbeute und/oder längerer Lebensdauer bei gleichem oder niedrigerem Werkstoffeinsatz. Der zunehmende Automatisierungsgrad der Lichtquellenproduktion und die dadurch wachsenden technologischen Anforderungen setzen ein steigendes Qualitätsniveau der zu verwendenden Werkstoffe voraus [2].
Gegenwärtig ist ein Leistungsstand bei den bekannten Lichtquellen zu verzeichnen, wo im Rahmen der verwendeten Werkstoffe die Grenzen des Leistungsvermögens erreicht scheinen. Sowohl die weitere Vervollkommnung bestehender als auch die Neuentwicklung von Lichtquellen werden davon abhängen, inwieweit die eingesetzten Werkstoffe dem angewendeten Lichterzeugungsprinzip adäquat sind. Das kann einmal durch Veredlung und Optimierung spezieller Eigenschaften bereits eingesetzter Werkstoffe erfolgen, zum anderen aber auch durch die Verwendung von Alternativwerkstoffen. Beide Varianten erfordern jedoch ein grundlegendes physikalisches Verständnis derjenigen Prozesse und Mechanismen, die beim jeweils angewendeten Lichterzeugungsprinzip in Wechselwirkung mit dem Werkstoff ablaufen.

1. Tendenzen der Lichtquellenentwicklung

Zu Schwerpunkten der Innovation bei Lichtquellen haben sich fünf Entwicklungsrichtungen herausgebildet [3]:

- Halogenglühlampen kleiner Leistung, zum einen im Niedervoltbetrieb mit entsprechendem elektronischem Zubehör für Netzanschluß, zum anderen mit Netzspannungsbetrieb
- Kompaktleuchtstofflampen als Glühlampenalternative, konventionell als auch mit integrierten elektronischen Vorschaltgeräten in E 27-Sockelausführung
- Halogen-Metalldampflampen kleiner Leistung
- Hochdruck-Natriumdampflampen kleiner Leistung mit verbesserter Lichtfarbe
- natürlich erscheinendes, elektronisch gesteuertes Kerzenlicht.

Dr.-Ing. *Peter Schade* ist Abteilungsleiter, Dipl.-Chem. *Karin Serger* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dipl.-Phys. *Helmut Sämisch* ist Bereichsleiter im Forschungszentrum für Lichttechnik des Kombinats VEB NARVA „Rosa Luxemburg" Berlin.

Allen diesen Neu- und Weiterentwicklungen von Lichtquellen ist gemeinsam, daß der Werkstoff Wolfram wegen seiner hervorragenden und teilweise einzigartigen physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften [2] für Leuchtkörper und Elektroden weiterhin eingesetzt wird. Die energieökonomisch bedingte Leistungsreduzierung moderner Lichtquellen ist begleitet von einer Miniaturisierung der Wolframleuchtkörper und -elektroden, die bezüglich chemischer Reinheit, Duktilität und Hochtemperaturkriechfestigkeit sowie Emissionsfähigkeit und Erosionswiderstand erhöhte Anforderungen an Werkstoffe und Technologie stellen.

2. Wolfram für Halogenglühlampen

In Halogenglühlampen werden Wolframleuchtkörper im Temperaturbereich $2900\ \mathrm{K} < T < 3400\ \mathrm{K}$, d.h. bis oberhalb 90% des Schmelzpunktes von Wolfram, und durch geringe mechanische Spannungen $\sigma \leqq 10^{-4} \cdot G$ (G Schubmodul), hervorgerufen durch die Eigenmasse des Leuchtkörpers, beansprucht [4]. Neben notwendigen Eigenschaften, wie Verdampfungsgeschwindigkeit des Wolframs, die durch Bindungsenergie, Elektronenkonfiguration und kovalenten Bindungsanteil bedingt sind [2], sowie hinreichenden Eigenschaften, wie der Hochtemperaturkriechfestigkeit, die durch Gefügeoptimierung und Gasblasenbeitrag determiniert wird [4] [5] [6], spielen bei diesen Lichtquellen auf Grund chemischer Wechselwirkungen zwischen Werkstoffen und Gasphase Verunreinigungen und deren Diffusionsverhalten die dominierende Rolle.

2.1. Halogenkreisprozeß

Die Lichtausbeute von Halogenglühlampen wird bestimmt durch die Temperatur des Wolframleuchtkörpers, während die Lebensdauer abhängig ist von [7]:

- Halogen- und Inertgasfüllung
- Leuchtkörper- und Hüllwandtemperatur
- chemischen Reaktionen zwischen Halogenen, Wolfram, Hüllwerkstoff, Aufbauteilen (Molybdän) und möglichen Verunreinigungen (Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasser, Eisen, Chrom, Aluminium, Kalium, Silicium)
- der Geometrie der Lampe
- physikalischen Transportmechanismen, wie Wärmeleitung, Diffusion im Festkörper und in der Gasphase, sowie Konvektion.

Das Lampenverhalten wird hauptsächlich bestimmt durch

- die Lampengeometrie
- die Temperaturverteilung entlang des Leuchtkörpers und der Hüllwand sowie zwischen Leuchtkörper und Hüllwand (axiale und radiale Transportprozesse)
- Segregationseffekte der reaktiven Gasfüllung (Korrosion)
- chemische Reaktionen von Halogenen mit dem Hüllwandwerkstoff und den an der Hüllwand kondensierten Phasen.

Auf Grund der thermischen Eigenschaften der gebildeten Wolframhalogenide und -oxidhalogenide erfolgt bei geeigneter Temperaturverteilung ein Rücktransport des verdampften Wolframs in die Nähe des Leuchtkörpers, wodurch als besonderer Vorteil die Schwärzung des Lampenkolbens vermieden wird. Bild 1 zeigt als Beispiel typische Transporterscheinungen am Wolframleuchtkörper von Halogenlampen.

Bild 1. Halogenlampenwendel mit abgedünnter Windung und axialem Wolframtransport, REM-Abbildung (SE), $V = 60:1$

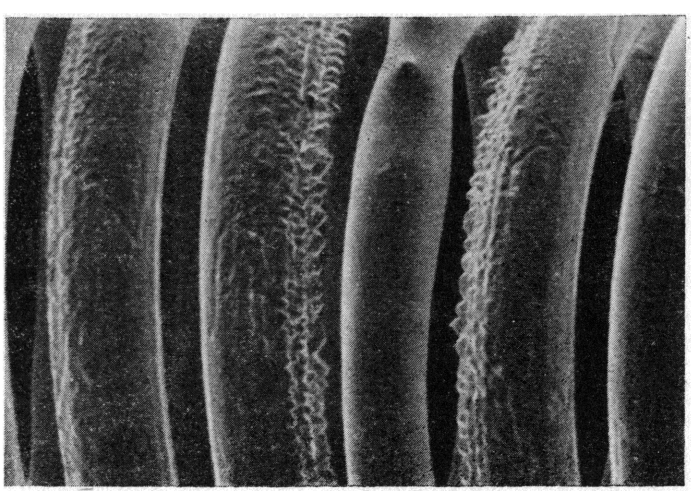
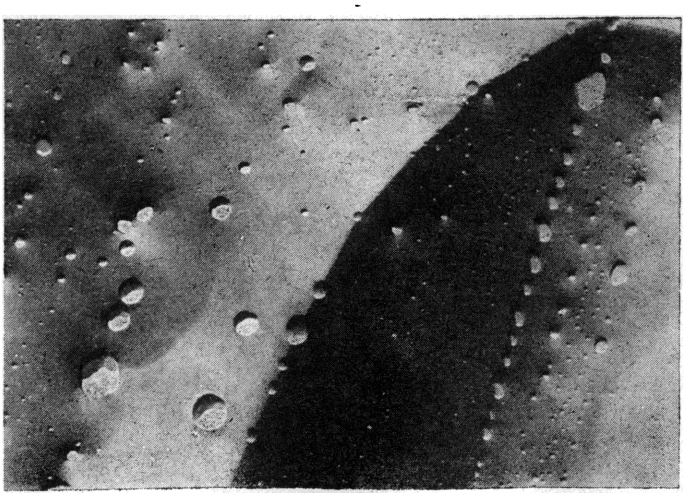


Bild 2. Anisotrope, zeilige Gasblasenverteilung in gedoptem Wolfram, TEM-Abbildung, C-Pt-Replica, $V = 10000:1$



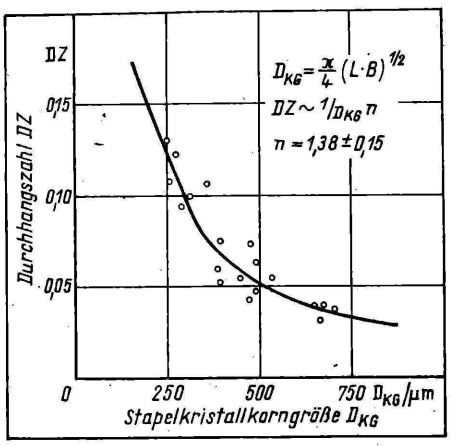
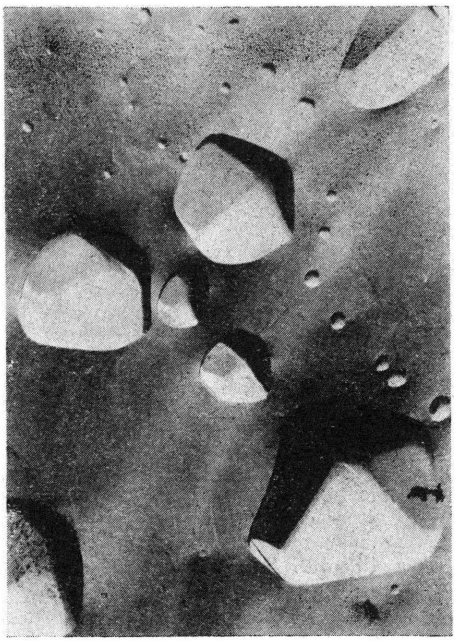


Bild 3. Korngrößenabhängigkeit der Kriechgeschwindigkeit (Durchhang) gedopter Wolframdrähte



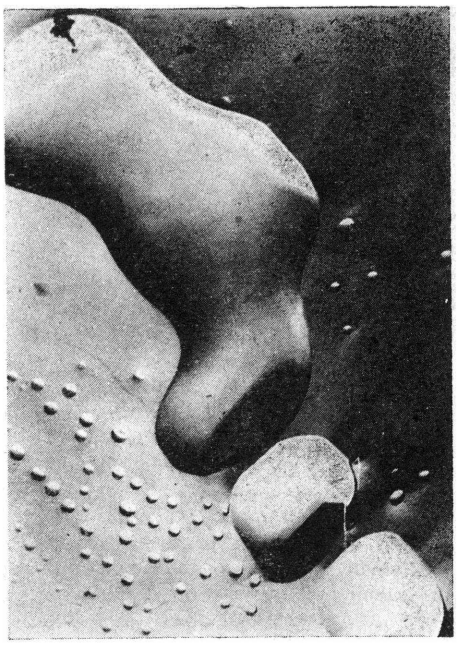


Bild 4. Wachstum von großen Gasblasen bei T = 2900 K, t = 4 h (4*a*), Koaleszenz großer Gasblasen in gedoptem Wolfram bei T = 2900 K (4*b*) TEM-Abbildung, C-Pt-Replica, V = 10000:1

2.2. Hochtemperatureigenschaften von Wolfram

Der dominierende, das Lebensdauerverhalten bestimmende Kriechprozeß des Wolframs in Glühlampen ist das Diffusionskriechen [8]. Mikrolegiertes (gedoptes) Wolfram, d.h. mit bewußten Zusätzen von Kalium, Silicium und Aluminium im Konzentrationsbereich $< 10^{-4}$, zeigt ein spezifisches Rekristallisationsverhalten und eine typische Gefügemorphologie aus langen, miteinander verzahnten Kristallen, die auf die anisotrope, verformungsgradabhängige Kalium-Gasblasendispersion (Bild 2) zurückzuführen ist [9] [10] [11]. Die hohe Korngröße und das große Formverhältnis ($R = L/B$) aus Länge und Breite der rekristallisierten Körner minimieren die Kriechgeschwindigkeit (Bild 3) [12]. Neben diesem indirekten Gasblasenbeitrag über die Steuerung der Gefügemorphologie wird die Kriechgeschwindigkeit gedopter Wolframdrähte direkt durch die Gasblasengröße beeinflußt [6] [12]. Das Wachstum und die Koaleszenz von Gasblasen bei hohen Temperaturen (Bild 4) stellt dabei gleichzeitig einen möglichen Ausfallmechanismus in Halogenglühlampen dar (Bild 5) [12] [13] [14].

Mit zunehmendem Verformungsgrad des Wolframdrahtes verringert sich die mittlere Gasblasengröße nach einem Potenzgesetz [2] [16]. In Übereinstimmung damit zeigt sich, daß mit kleiner werdendem Wolframdrahtdurchmesser ($\varnothing < 10^{-2}$ cm) bei der Rekristallisationsglühung zwar noch lange Kristalle erhalten werden, die mikroskopische Korngrenzenmorphologie jedoch zunehmend einer planaren Korngrenzenfläche entspricht, die nahezu senkrecht zur Drahtachse verläuft (Bild 6). Eine derartige Gefügemorphologie mit veränderten Kriecheigenschaften wird als „Bambus-Struktur" bezeichnet [8]. Bild 6 zeigt außerdem die typische Facettierung des Wolframdrahtes bei hohen Temperaturen, die auf die Ausbildung kristallografisch definierter Gleichgewichtsflächen zurückzuführen ist.

In Analogie zu Ergebnissen an Reaktorwerkstoffen [15] zur Wanderung von Helium-Gasblasen unter der Wirkung treibender Kräfte, hervorgerufen durch Temperatur- und Spannungsgradienten, ist bei dünnen Wolframdrähten zu erwarten, daß derartige Effekte bei kleinen Kaliumgasblasen im Wolfram ($d \leqq 10$ bis 15 nm) zu einer Veränderung der Anisotropie der Gasblasenverteilung führen, so daß die Korngrenzenmorphologie bei der Rekristallisationsglühung durch die temperatur- und größenabhängige Beweglichkeit von Gasblasen bestimmt wird.

Hinzu kommt für kleine Gasblasen die Möglichkeit, daß sie aufgrund anziehender Wechselwirkungskräfte [17] von wandernden Korngrenzen mitgeschleppt werden, wenn die Korngrenzengeschwindigkeit kleiner bzw. gleich der Driftgeschwindigkeit der Glasblasen ist [13] [16] und es durch Akkumulation von Glasblasen und nachfolgender Koaleszenz zu Werkstoffschädigungen kommt.

Die Besonderheiten des Hochtemperaturkriechmechanismus gedopter Wolframdrähte führen auf Grund der Proportionalität zwischen Gasblasengröße und Kriechgeschwindigkeit [18] zu einem positiven Gasblaseneffekt. In bezug auf mögliche negative Gasblaseneinflüsse entsteht ein Optimierungsproblem, das durch geeignete Wahl von Verformungsgrad und Wärmebehandlung sowie Rekristallisationsglühtemperatur und Aufheizgeschwindigkeit zu lösen ist.

2.3. Wechselwirkung zwischen Verunreinigungen und Halogenfüllung

Bei den hohen Leuchtkörpertemperaturen in Halogenlampen ist die Diffusionsgeschwindigkeit vorhandener Wolframverunreinigungen

Bild 5. Ausfall von Wolframdraht durch Hohlraumbildung, Sprödbruch und lokales Aufschmelzen, REM-Abbildung (SE), V = 450:1

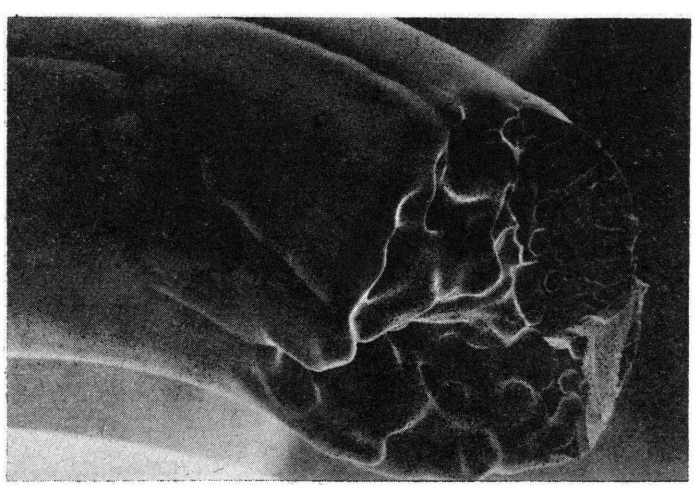
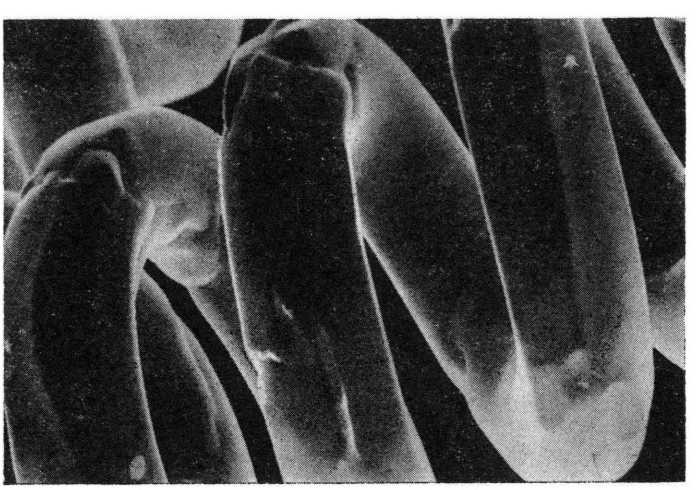


Bild 6. Ausbildung planarer Korngrenzen in dünnen Wolframdrähten und Entstehung kristallografisch definierter Gleichgewichtsfacetten, REM-Abbildung (SE), V = 600:1



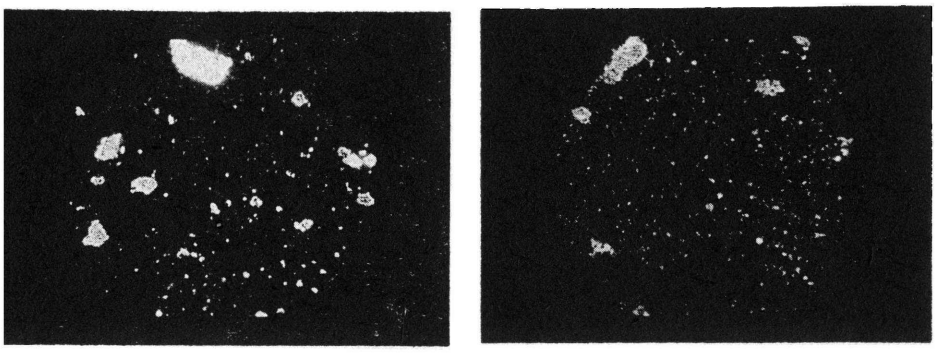


Bild 7. Katodenlumineszenzabbildung der ThO_2-Verteilung in Wolframelektroden

relativ hoch ($D > 10^{-8}$ cm$^2 \cdot$ s^{-1}), so daß die möglichen Diffusionswege ein Mehrfaches des Drahtdurchmessers betragen. Auf Grund des Konzentrationsgradienten zwischen Wolframmatrix und Gasphase tritt während der Lampenlebensdauer ein spezifischer Verunreinigungsübergang in die Gasphase auf, der zu Störungen des Halogenkreisprozesses führen kann (Transportgasgetterung).

Das Diffusionsverhalten spezifischer Verunreinigungselemente und der Dopingzusätze des Wolframs (Mo, Fe, Cr, K, Al, Si) wurde mit Hilfe der quantitativen Spektralanalyse während der Lampenbrenndauer untersucht. Dabei zeigt sich, daß die Diffusionsgeschwindigkeit unterschiedlicher Elemente in folgender Reihenfolge abnimmt:

$$D_{Fe} > D_{Al} > D_{Mo},$$

während Kalium infolge der Segregation in Gasblasen keine Abreicherung in der Wolframwendel zeigt. Aus der Korrelation zwischen Verunreinigungsgehalt in der Wolframmatrix und der Halogengaszusammensetzung ergeben sich die maximal zulässigen Verunreinigungsgehalte, die bei gegebener Transportgaszusammensetzung unkritisch für das Auftreten von Kolbenschwärzungen sind.

In Fortführung der Untersuchungen zum Diffusionsverhalten von Verunreinigungen in Halogenlampenwendeln wurde die Emissionsspektralanalyse der Gasphase von Halogenlampen mittels des zeitabhängigen photoelektrischen Verfahrens angewendet. Es konnte nachgewiesen werden, daß neben Wolfram Molybdän und Eisen in der Gasphase verbleiben, Aluminium und Chrom jedoch an kälteren Stellen des Kolbens kondensieren und so der Gasphase das Transportgas entziehen. Unter ungeeigneten Bedingungen, z. B. bei niedriger Hüllwandtemperatur, kondensieren auch Eisen und Molybdän und führen durch Transportgasgetterung zu Schwärzungen.

Die Konzentration von Verunreinigungen in der Gasphase von Halogenlampen hängt von folgenden Faktoren ab:

- — Konzentration der Verunreinigungen in Wendeln und Lampenaufbauwerkstoffen
- — Diffusionsgeschwindigkeit der Verunreinigungen aus den Wendeln, den sonstigen Lampeninnenaufbauten und dem Quarz- oder Hartglaskolben in Abhängigkeit von der Temperatur innerhalb der Lampe
- — Löslichkeit der Verunreinigungen in der Gasphase als Funktion von Transportgasdruck und -art, örtlicher Temperatur der Gasphase sowie der thermodynamischen Stabilität der gebildeten Verbindungen

Tafel 1. Elektronenaustrittsarbeit ausgewählter Metalle, Verbindungen und Legierungen

Metalle	φ/eV	Oxide	φ/eV	Legierungen	φ/eV
Wolfram	4,54	Y_2O_3	3,30	$WThO_2 - 1{,}5\,\%$	2,7 – 3,0
Molybdän	4,30	La_2O_3	2,96	$WThO_2 - 3{,}0\,\%$	2,7
Tantal	4,12	Ce_2O_3	3,40	$WLa_2O_3 - 3\,\%$	2,9
Niob	4,01	Nd_2O_3	3,88	$WY_2O_3 - 4\,\%$	2,7 – 3,3
Platin	5,32	ThO_2	3,0	$WHfO_2 - 4\,\%$	3,7
Calcium	2,80	HfO_2	3,84	W, getränkt	
Strontium	2,35	ZrO_2	3,97	(Ba – Ca-aluminat)	2,05
Barium	2,49	BaO	2,0 – 2,7		

- — Kondensation der entstehenden Verbindungen an der Kolbenwand als Funktion der kältesten Stelle und des Sublimationspunktes der Verbindungen.

Die Einstellung dieses polyvarianten Gleichgewichtes beeinflußt Stabilität und Schwärzungsverhalten von Halogenlampen stark, so daß dem Einsatz hochreiner Werkstoffe und Füllgase bei der Weiterentwicklung von Halogenlampen erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen ist.

3. Wolfram für Entladungslampen

In Lichtquellen mit Bogen- oder Impulsentladung haben die elektrodennahen Prozesse, die Emissionseigenschaften und der Erosionswiderstand der Elektroden entscheidenden Einfluß auf die Lebensdauer und die Stabilität des Lampenbetriebes. Auf Grund der hohen Temperaturbelastung in Hochdruckentladungslampen wird als Elektrodenwerkstoff ausschließlich Wolfram eingesetzt, dem zur Herabsetzung der Elektronenaustrittsarbeit spezifische Emitterzusätze auf der Grundlage der pulvermetallurgischen Technologie zugegeben werden. Tafel 1 gibt einen Überblick zu den Elektronenaustrittsarbeiten einiger Metalle, Verbindungen und Legierungen auf Wolframbasis.

Wichtigster Emitterzusatz für Wolframelektroden ist Thoriumoxid in Konzentrationen von 0,7 % bis 5,0 %. Infolge der dispersionsverfestigenden Wirkung des oxidischen Zusatzes ist die obere Konzentrationsangabe die Grenze der plastischen Verformbarkeit derartiger heterogener Legierungen.

Bild 7 zeigt am Beispiel von Katodenlumineszenzabbildungen, daß die Verteilung des Emitters (ThO_2) in Abhängigkeit von den Parametern der Herstellungstechnologie deutlich verschieden ist und lokal unterschiedliche Emissionszentren entstehen.

Bild 8. Lokale Aufschmelzungen und Mikrokraterbildung auf der Oberfläche von thorierten Wolframelektroden, REM-Abbildung (SE), V = 36:1

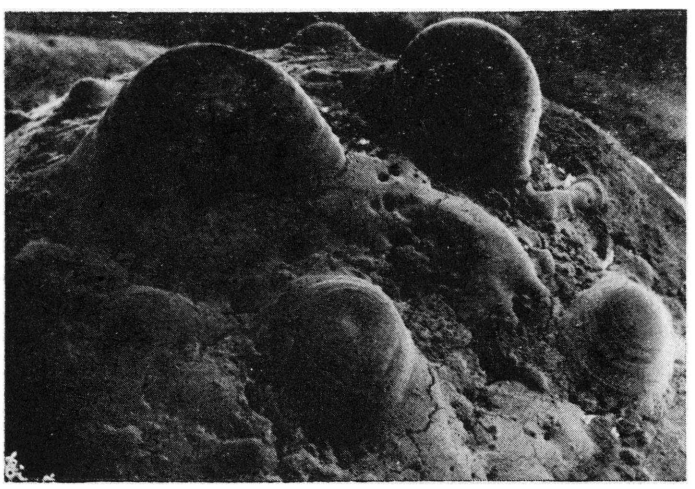


Bild 9. Thermische Rißbildung an der Oberfläche von thorierten Wolframelektroden, REM-Abbildung (SE), V = 6000:1

Der Erosionswiderstand der in Hochdruckentladungslampen verwendeten Elektroden hängt von folgenden Parametern ab:

— Elektrodenwerkstoff
— Schmelzpunkt, Siedepunkt
— Austrittsarbeit
— Emitterart, -konzentration und -verteilung sowie chemischen Wechselwirkungen zwischen Matrix und Emitter
— Korngröße des Matrixwerkstoffs
— elektrische und Wärmeleitfähigkeit des Elektrodenwerkstoffs
— Temperaturwechselbeständigkeit des Elektrodenwerkstoffs
— Verdampfungsgeschwindigkeit von Matrix und Emitter
— Porosität des Elektrodenwerkstoffs bei Sinterelektroden
— Elektrodentemperatur, Energieumsatz
— Elektrodengeometrie
— Konstruktion des Lampenaufbaus
— elektrische Parameter der Bogen- bzw. Impulsentladung
— Plasmatemperatur
— Brennfleck- bzw. brennfleckloser Betrieb
— Art und Druck der Gasfüllung.

Die Vielzahl der möglichen Einflußfaktoren ist außerdem nicht unabhängig voneinander, so daß eine allgemeine Beschreibung des Elektrodenverhaltens gegenwärtig nicht möglich erscheint. Als Beispiel ist in den Bildern 8 und 9 gezeigt, daß die extrem hohe thermische Belastung der Elektroden bis zum lokalen Aufschmelzen der Elektrodenoberfläche und dem Auftreten von thermischen Spannungsrissen führen kann.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Auf der Grundlage der notwendigen und hinreichenden Eigenschaften des Wolframs für Halogenglühlampen sowie einer kurzen Zusammenfassung wichtiger Parameter des Halogenkreisprozesses werden die Hochtemperaturkriecheigenschaften des Wolframs unter besonderer Berücksichtigung dünner Wolframdrähte dargestellt. Dabei zeigt sich, daß für die Neuentwicklung von Halogenlampen kleiner Leistung insbesondere das Verhalten kleiner Gasblasen und ihr Einfluß auf die Gefügeausbildung untersucht und geklärt werden muß. Es wird nachgewiesen, daß auf der Grundlage des Diffusionsverhaltens von Verunreinigungen in der Wolframmatrix sowie der Wechselwirkung zwischen Verunreinigungen und der Gasphase in Halogenlampen hohe Reinheitsforderungen an die Werkstoffe gestellt werden müssen.
Abschließend werden die wesentlichen, den Erosionswiderstand von Elektroden in Hochdruckentladungslampen beeinflussenden Parameter im Überblick dargestellt.
Die vorliegende Darstellung befaßt sich ausschließlich mit den metallischen Funktionswerkstoffen in Halogenglühlampen und Hochdruckentladungslampen. Es muß jedoch angemerkt werden, daß sowohl die metallischen Aufbau- und Konstruktionswerkstoffe als auch die nichtmetallischen Hüllwerkstoffe bezüglich ihrer Eigenschaften zur Qualität von Lichtquellen beitragen. Letztlich trifft das auch für die Werkstoffe zu, die bei neuen Lichtquellen in elektronischem Zubehör eingesetzt werden.

Literatur

[1] *Schade, P.:* Pulvermetallurgie hochschmelzender Metalle. Vortrag „Pulvermetallurgie und Sintertechnik". TU Dresden, 1981
[2] *Schade, P.; Sämisch, H.:* Herstellung und Eigenschaften von Wolfram für die Lichtquellenindustrie. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 12, S. 460
[3] *Günther, M.:* Neuerungen bei Lichtquellen — Weltlichtschau 1986 in Hannover, Licht 38 (1986) 4, S. 274
[4] *Schade, P.:* Gasblasenhärtungseffekt beim Hochtemperaturkriechen von Wolfram. Vortrag III. Konf. „Metallkundliche Probleme der Werkstoffentwicklung" Freiberg, 1980
[5] *Horaczek, O.; Horacsek, K.:* Cavitation in tungsten filaments. Z. f. Metallkde. 67 (1976) 4, S. 264
[6] *Wright, P. K.:* The high temperature creep behavior of doped tungsten wire. Metallurg. Trans. 9A (1978) 7, S. 955
[7] *Schnedler, E.:* Three-dimensional model for the theoretical description of tungsten transports in halogen incandescent lamps. High Temp. Sci 19 (1985), S. 237
[8] *Raj, R.; Ashby, M. F.:* Grain boundary sliding, and the effects of particles on its rate. Metallurg. Trans. 3 (1972), S. 1937
[9] *Warlimont, H.; Necker, G.; Schultz, H.:* The recrystallization of doped tungsten wire. Z. f. Metallkde. 66 (1975) S. 279
[10] *Snow, D. B.:* The recrystallization of heavily-drawn doped tungsten wire. Metallurg. Trans. 7A (1976) 6, S. 783
[11] *Schade, P.:* The effect of bubble parameters on the secondary recrystallization temperature of doped tungsten. Planseeber. Pulvermet. 24 (1976) 4, S. 243
[12] *Horacsek, O.:* Properties and failure modes of incandescent tungsten filaments. IEE Proc. 127 A (1980) 3, S. 134
[13] *Gabe, S.; Hanloh, S.:* Growth of potassium-filled bubbles in doped tungsten and its relation to hot spot development and intergranular fracture. Philips J. Res. 38 (1983) 4/5, S. 248
[14] *Shewmon, P. G.:* Movements of small inclusions in solids by a temperature gradient. Trans. Met. Soc. AIME 230 (1964), S. 1134
[15] *Schade, P.:* Über den Einfluß pulvermetallurgischer Parameter auf die Gasblasentstehung in gedoptem Wolfram sowie die Beeinflussung von Rekristallisation und thermischer Formstabilität durch Gasblasen. Dissertation, Bergakademie Freiberg, 1979
[16] *Weeks, R. W.; Pati, S. R.; Ashby, M. F.; Barrand, P.:* Elastic interaction between a straight dislocation and a bubble or particle. Acta Met. 17 (1969), S. 1403

EA 5747

Elektronisches Netzteil für Halogenniedervoltlampe 12 V/50 W

R. Bruseberg; W. Harnisch; Berlin

Halogenglühlampen sind Temperaturstrahler mit idealer Farbwiedergabe und sehr hoher Lichtausbeute. Durch ihre kompakte Bauweise sind sie für bestimmte Anwendungsgebiete hervorragend geeignet. Bedingt durch die Schwierigkeit, Halogenlampen im Niederwattbereich ($\leqq$ 100 Watt) für Netzspannungsbetrieb auszulegen (erhebliche Lebensdauerprobleme durch dann geringeren Glühdrahtdurchmesser), sind sie in diesem Leistungsbereich als Niedervoltlampen ausgeführt und benötigen zum Betrieb an Netzspannung einen Transformator. Ausgehend von den bekannten Nachteilen eines Trafo-Betriebes (große Masse, hohe Einschaltstrombelastung für die Lampe, relativ schlechter Wirkungsgrad) bestand die Forderung, den 50-Hz-Transformator durch ein elektronisches Netzteil (eNT) zu ersetzen.

1. Anforderungen an die elektronische Stromversorgung für eine Halogenniedervoltlampe

In enger Zusammenarbeit zwischen dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" und dem Zentralinstitut für Elektronenphysik der AdW wurden folgende Anforderungen, die an eine elektronische Stromversorgung für Halogenniedervoltlampen zu stellen sind, fixiert:

— Reduzierung der Einschaltstrombelastung für die Lampe
— hoher Wirkungsgrad
— Kurzschluß- und Leerlaufsicherheit der Schaltung
— Lampenspannung ist bei Netzspannungsschwankungen von $\pm$ 10 % vom Nennwert annähernd konstant zu halten
— geringe Masse
— Funkstörgrenzwerte sind nach TGL 20885/12 und Oberschwingungsbelastung nach TGL 28164/02 einzuhalten
— zuverlässige Betriebsweise der Schaltung trotz erhöhter Temperaturbeanspruchung in der Leuchte
— Arbeitsfrequenz 20 kHz.

2. Schaltungsprinzip

Die Schaltung des eNT ist durch eine fremdgesteuerte Eintransistorschaltung realisiert worden. Im Bild 1 sind die wesentlichen Schaltungsteile dargestellt. Die über das Entstörfilter zugeführte Netzspannung wird gleichgerichtet. An den Hochfrequenzzerhacker — bestehend aus Transformator und Schaltstufe — gelangt die primäre Gleichspannung U_i, die dort in eine mäanderförmige Spannung zerhackt wird. Im Transformator erfolgt die Spannungsanpassung, und an den Sekundärklemmen liegt die Lampenspannung U_L an. Durch die Steuer- und Regelschaltung wird die Schaltstufe über eine Treiberstufe getastet. Der Steuer- und Regelschaltung wird eine Vergleichsspannung zugeführt, die aus der gleichgerichteten Netzspannung abgeleitet ist. In Abhängigkeit vom

Dipl.-Ing. *Rainer Bruseberg* ist Gruppenleiter, Dipl.-Ing. *Werner Harnisch* ist Mitarbeiter für Forschung und Entwicklung im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" Berlin.

jeweiligen Wert dieser Vergleichsspannung stellt sich ein entsprechendes Tastverhältnis ein. Eine zweite, durch die Steuer- und Regelschaltung auszuwertende Größe, ist die über dem Emitterwiderstand abgegriffene Spannung, die dem Strom direkt proportional ist. In Abhängigkeit von dem Wert, den diese Spannung annimmt, ist es möglich, die Abschaltung der Ausgangsstufe der Regel- und Steuerschaltung zu erreichen. Die Versorgung der Steuer- und Regelschaltung, der Treiberstufe und der Schaltstufe erfolgt direkt aus dem Netz.

3. Funktionsbeschreibung des eNT

Bild 2 zeigt das Schaltbild des eNT für eine Halogenglühlampe 12 V/50 W. Über Funkentstörfilter und Brückengleichrichter wird der Kondensator C_4 geladen. Die Spannung wird dann vom Hochvoltschalttransistor V_1 an die Primärwicklung N_1 des Transformators gelegt. Das Tastverhältnis, mit dem V_1 angesteuert wird, wird vom Ansteuerschaltkreis N_1 bestimmt. Auf Grund des Wirkprinzips ist das Tastverhältnis hier auf 0,45 begrenzt, so daß nach jeder Leitphase von V_1 der Transformatorkern über die Wicklung N_3 und die schnelle Schaltdiode V_{14} entmagnetisiert wird. Die Wicklungen N_1 und N_3 von $Tr._1$ sind bifilar gewickelt und vermeiden durch die enge magnetische Kopplung Ausschaltspannungsspitzen am Kollektor von V_1. In der Leitphase des Transistors V_1 ist die Diode V_{15} wirksam. In Abhängigkeit von der Sättigungsspannung des Transistors V_1 steuert sie den Zustand des Treibertransistors V_2. Auf diese Art und Weise wird dem Transistor V_1 gerade soviel Basisstrom angeboten wie dieser in Abhängigkeit vom Augenblickswert des Kollektorstromes von V_1 und dem Wert seiner Stromverstärkung benötigt. Diese Beschaltung erweist sich in Zusammenhang mit der realisierten Hilfsversorgung als sehr vorteilhaft, da Steuerleistung gespart wird. Mit der Rückflanke des Ansteuerimpulses von N_1 — über Pin_{15} an die Treiberstufe gelegt —, wird V_2 gesperrt. Die Darlingtonstufe V_3, V_5 wird leitend, und es fließt über die Induktivität L_2 der zum schnellen Abschalten des Transistors V_1 erforderliche negative Basisstrom, dessen Verlauf und Größe für die Dauer des Ausschaltvorganges mitbestimmend ist. Durch diese Induktivität wird ein angepaßter Verlauf zwischen negativem Basisstrom und Kollektorstrom erreicht. Mit der Beschaltung werden Fallzeiten des Kollektorstromes von $\leqq 200$ ns erreicht.

Beim Abschaltvorgang steigt die Kollektor-Emitter-Spannung (U_{CE}) innerhalb von I µs an und erreicht dann ihren Spitzenwert von 680 V. Das verzögerte Ansteigen der U_{ce} wird durch das SOAR-Glied R_{17}, C_5, V_{16} erreicht. Die Dimensionierung des SOAR-Gliedes erfolgte so, daß auch unter ungünstigen Betriebsbedingungen die SOAR-Grenzen des Transistors nicht überschritten werden und die im Betrieb auftretenden Verluste im Widerstand R_{17} relativ gering bleiben. Nachdem sich die Streuinduktivität des Transformators *Tr. 1* entladen hat, fällt U_{CE} des Leistungsschalttransistors V_1 auf das Doppelte der Eingangsgleichspannung ab. Am Ende der Sperrphase erreicht die Kollektor-Emitter-Spannung den Wert der Eingangsgleichspannung und fällt dann weiter gegen Null ab. Die Erzeugung der Schaltfrequenz sowie die Steuer- und Schutzfunktionen werden von der integrierten Ansteuerschaltung B 260 übernommen. Die Spannungsversorgung des B 260 wird durch Gleichrichtung der Netzspannung (V_{10} — V_{13}) und einer Z-Dioden-Stabilisierung (V_{20}) mit kapazitivem Vorwiderstand (C_2, C_3) realisiert. Auf die äußere Beschaltung des B 260 soll hier nicht näher eingegangen werden, da in zahlreichen Veröffentlichungen schon darüber berichtet wurde [1].

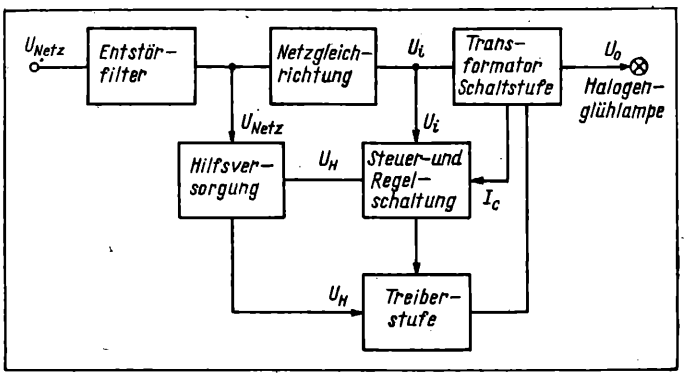


Bild 1. Schaltungsteile

3.1. Langsamanlauf

Der Schaltkreis B 260 bietet die Möglichkeit, bei entsprechender Beschaltung ein langsames Hochregeln des Tastverhältnisses zu realisieren. In der Einschaltphase sind das kleine Tastverhältnis, die Streuinduktivität des Transformators $Tr._1$ und der Überstromschutz insgesamt wirksam und bewirken die Begrenzung des Einschaltstromes. Bei der beschriebenen Schaltung ist der Einschaltstrom nur 2,5 mal so hoch wie der Nennstrom der Lampe.

3.2. Leerlauf

Bei Betrieb ohne Lampe fließt durch die Wicklung N_1 ausschließlich der Magnetisierungsstrom. In der Sperrphase von V_1 beträgt die maximale Kollektor-Emitter-Spannung 700 V. Die Leistungsaufnahme der Schaltung beträgt $\leqq 3{,}5$ W, wobei die Schaltung auch in dieser Betriebsart ein sicheres Verhalten zeigt.

3.3. Kurzschluß, Überstromschutz

Die Schaltung ist bei einem im Primärkreis auftretenden Kurzschluß durch eine Schmelzsicherung geschützt. Bei sekundärseitigem Kurzschluß, den die Lampe durch ihren sehr kleinen Kaltwiderstand selbst in gewisser Weise realisiert, erfolgt ein schnelles Ansteigen des Kollektorstromes in V_1. Über seinen Emitterwiderstand R_{15}/R_{16}

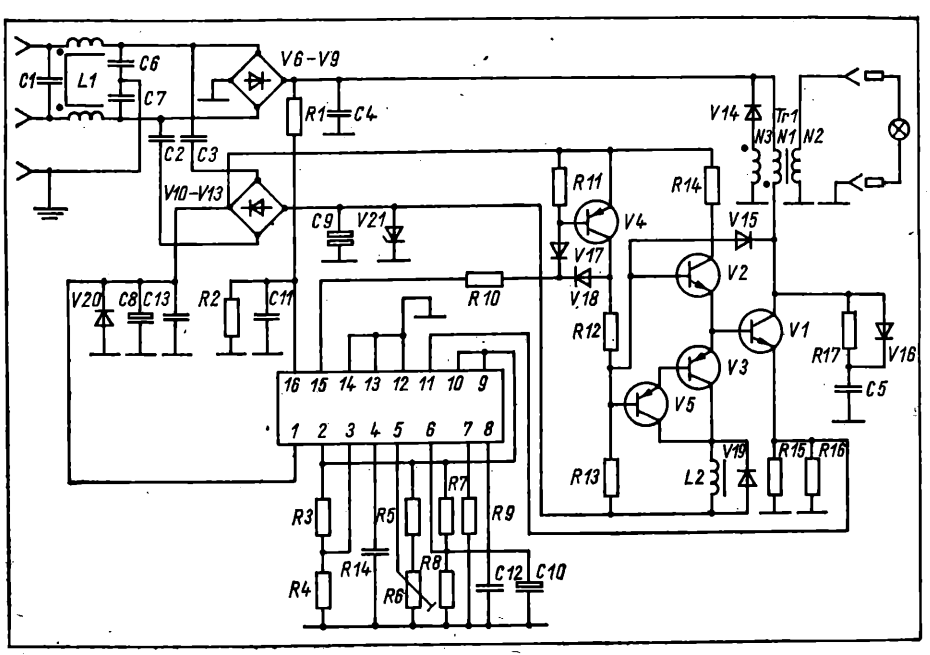


Bild 2. Schaltbild des eNT für Halogenglühlampe 12 V/50 W

wird eine dem Strom durch den Transistor V_1 proportionale Spannung abgegriffen, die dem Eingang Pin_{11} des B 260 zugeführt wird. Er übernimmt nun in bekannter Weise die Abschaltung der Ausgangsstufe des Schaltkreises B 260 beim Erreichen eines bestimmten Schwellwertes.

4. Konstruktion

Die konstruktive Gestaltung der elektronischen Baugruppe sieht zwei Leiterplatten vor. Auf der Grundplatine sind die Schaltungsteile Entstörfilter, Gleichrichtung, Transformator, Hilfsversorgung und Schaltstufe untergebracht. Die Ansteuerplatine enthält den B 260 mit seiner äußeren Beschaltung und die Treiberstufe. Hiermit soll zum einen die Prüfarbeit im Produktionsprozeß vereinfacht werden und zum anderen eine Kompaktheit der Baugruppe erreicht werden. Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt bei der Konstruktion ist die Temperaturbelastung in der Leuchte durch die auftretende Wärmestrahlung und Wärmeleitung. Es muß gewährleistet sein, daß in der ungünstigen Einbaulage des elektronischen Netzteils in der Leuchte die Werte für die maximale Temperaturbelastung nicht überschritten werden. Hierzu wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um das Temperaturgefälle in der Leuchte zu ermitteln. Auf dieser Basis wurde die Leiterplatte entwickelt und die Bauelemente, insbesondere die Kondensatoren/Elektrolytkondensatoren mit ihren sehr geringen Temperaturbelastbarkeiten, so angeordnet, daß jederzeit ein sicheres Arbeiten des eNT gewährleistet und eine hohe Zuverlässigkeit des Systems erreicht wird. Große Sorgfalt wurde auch dem Aufbau des Transformators $Tr._1$ gewidmet.
Da bedingt durch den Schaltungsaufbau eine enge magnetische Kopplung zwischen den Wicklungen N_1 und N_3 realisiert werden mußte, wurden diese Wicklungen bifilar gewickelt. Der Auswahl des zu verwendenden Drahtes kommt hier eine besondere Bedeutung zu, da stets gegenpolige hochfrequente Spannungen über den Wicklungen stehen. Es wurde Kupferlackdraht mit verstärkter Lackisolierung aus Polyesterimid verwendet, der gleichzeitig eine sehr gute Wärmebeständigkeit besitzt. Für die Sekundärwicklung N_2 wurde aus wickeltechnischen Gründen und zur Verringerung der Stromverdrängung seidenumsponnene HF-Litze verwendet. Der Transformator wird vakuumgetränkt. Die Montage der Leiterplatte im Gehäuse des Anstrahlers erfolgt über zwei EGS-Schienen, die an der Gehäusewand befestigt sind.

5. Zusammenfassung

Das eNT erfüllt alle eingangs genannten Anforderungen. Folgende Gebrauchseigenschaften wurden erreicht:

- Leistungsfaktor 0,97
- Wirkungsgrad 90%, d.h. 50% höherer Wirkungsgrad als ein vergleichbarer Transformator
- Masse 280 g, d.h. Reduzierung um 75% gegenüber einem vergleichbaren Transformator
- Änderung der Nennlampenspannung um 2% bei Netzspannungsschwankungen im Bereich von 198 bis 242 V
- Begrenzung des Einschaltstromes der Lampe auf den 2,5fachen Wert des Nennlampenstromes
- Lebensdauer der 12 V/50 W-Lampe ist bei Betrieb mit eNT viermal, mit Transformator zweimal so hoch wie die einer normalen Allgebrauchslampe
- Einsparung wichtiger Import-Schwerpunktmaterialien (magnet. Bandstahl um 100%, Kupferlackdraht um 80%).

Das eNT wird seit November 1985 im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg", Elektrobetrieb Weida, produziert. Es ist als Baugruppe Bestandteil des Anstrahlers vom Typ 3485, der im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg", Leuchtenbau Arnsdorf, produziert wird.

Literatur

[1] radio · fernsehen · elektronik, Berlin 31 (1982) 2 (Schwerpunktheft)

EA 5746

Wiederaufbereitung von Doppelrohrlampen

J. Heinze, KDT; B. Scheckenreuter; G. Streibel; Berlin

Im Zuge einer energie- und ressourcensparenden Arbeitsweise setzt sich sowohl international als auch national die Tendenz durch, eine neue Generation von Lampen und Leuchten zu entwickeln und einzusetzen. Diese neuen Lichtquellen zeichnen sich durch hohen Lichtstrom, hohe Lebensdauer, gute Farbwiedergabe und geringen Energieverbrauch aus.
Dieser Entwicklung entsprach das Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" u.a. mit der Doppelrohrleuchtstofflampe in den Varianten LD 7, LD 9 und LD 11. Seit 1983 werden diese Lampen produziert und im Handel angeboten.
Auf Grund ihrer Eigenschaften als kompakte Niederdruckentladungslampen in unterschiedlichen geometrischen Formen sollen sie in der Perspektive die herkömmlichen Allgebrauchslampen ablösen. Aus diesem Grunde wird das Kombinat VEB NARVA in Zukunft mehrere Millionen Stück jährlich produzieren.
Die dabei anfallenden defekten (Ausschuß) und die gebrauchten Lampen erreichen dann ebenfalls Millionenhöhe, so daß es nützlich wird, diese Lampen aufzuarbeiten. Infolgedessen wurde ein Verfahren zur Rückgewinnung der in der Doppelrohrleuchtstofflampe enthaltenen Materialien, wie Sockel, Kondensator, Glas, Metalle, Quecksilber und Leuchtstoff, entwickelt.
Größte Aufmerksamkeit gilt dabei dem Dreibandenleuchtstoff, der seltene Erden enthält, die bisher nur aus dem NSW bezogen wurden. Der Leuchtstoff stellt wertmäßig das wichtigste Material dar und enthält Yttriumoxid, Europium aktiviert sowie Magnesiumaluminat, Cer-Terbium aktiviert.
Beide Bestandteile werden in bestimmtem Verhältnis im Leuchtstoff verwendet.

1. Trocken- und Naßverfahren

Mit Hilfe der entwickelten Aufarbeitungsverfahren, dem Trockenverfahren einerseits, mit dessen Hilfe die Altlampen aus der Bevölkerung und aus den Industriebetrieben aufgearbeitet werden sollen, und dem Naßverfahren andererseits, bei dem hauptsächlich die defekten Lampen (Ausschuß) aufgearbeitet werden sollen und später auch weitere beschichtete Glaskörper, ist es möglich, den Leuchtstoff neben anderen Materialien zurückzugewinnen. Setzt man beide Verfahren zu 100%, so können durch das Trockenverfahren etwa 15% und durch das Naßverfahren etwa 85% aufgearbeitet werden. Ungeklärt ist bisher, ob diese Aufbereitung zentral in Berlin und/oder in anderen Städten dezentral erfolgen soll.
Nach neueren Untersuchungen scheint jedoch eine zentrale Aufbereitung in Berlin am effektivsten zu sein, weil dabei hohe Investitionen für mehrere Aufbereitungsanlagen vermieden werden können. *„Die einheimischen Rohstoffe sind so zu nutzen, daß ihr Gehalt an Bunt- und Edelmetallen sowie seltenen Erden komplex verwertet wird"*. Diese vom XI. Parteitag der SED formulierte Aufgabe [1] für den Zeitraum 1986 bis 1990 macht die Bedeutung der Rückgewinnung von seltenen Erden deutlich, auch aus Sekundärrohstoffen.
Für den in der Doppelrohrleuchtstofflampe eingesetzten Dreibandenleuchtstoff mit den seltenen Erden wurden 1984 auf dem Weltmarkt etwa 900,— DM/kg gezahlt. Demzufolge ist jede Einsparung und Rückgewinnung des Leuchtstoffes von volkswirtschaftlichem Nutzen. Die benötigten Mengen sind beträchtlich.
Neben dem Leuchtstoff lassen sich beim Trockenverfahren auch die Bauteile Plastsockel und Zündkondensator zurückgewinnen.
Das Naßverfahren dagegen kann in breitem Maße für alle leuchtstoffbeschichteten Glaskörper angewandt werden. Eventuell ist eine Kopplung beider Verfahren denkbar. Für eine ökonomische vertretbare Aufbereitung müssen beide Verfahren umfassend und effektiv genutzt werden.

Dr. rer. nat. *Joachim Heinze* ist Abteilungsleiter und Dipl.-Ökonom *Bernd Scheckenreuter* ist Mitarbeiter für F/E im Forschungszentrum für Lichttechnik des Kombinats VEB NARVA „Rosa Luxemburg" Berlin. Prof. Dr. sc. oec. *Günter Streibel* ist Hochschullehrer an der Sektion Wirtschaftswissenschaften der Humboldt-Universität Berlin.

2. Folgen für die Umwelt

Bei der Rückgewinnung wertvoller Materialien und Stoffe können jedoch unerwünschte Folgen bzw. Belastungen der Umwelt auftreten, da bei der unkontrollierten Zerlegung verbrauchter und defekter Doppelrohrleuchtstofflampen Quecksilber austreten kann. Metallisches Quecksilber kann in der Atmosphäre zu Quecksilberverbindungen umgesetzt werden, die z.T. Gifte der Abteilung 1 sind. Daher muß sowohl beim Trocken- als auch beim Naßverfahren das Quecksilber sicher aufgefangen werden.

In Zusammenarbeit mit den Sektionen Chemie und Wirtschaftswissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin wurde innerhalb eines Jugendobjektes zur Lösung der damit verbundenen ökonomischen, ökologischen und chemisch-technischen Probleme beigetragen.

3. Ökonomische Probleme

Gradmesser für eine sinnvolle Nutzung der vorhandenen materiellen Ressourcen ist ihre volkswirtschaftlich effektive Gewinnung und Verwendung im Reproduktionsprozeß. Dieses gilt auch für Sekundärrohstoffe im allgemeinen, für das Recycling von Doppelrohrlampen im speziellen. Aus ökonomischer Sicht treten dabei folgende Probleme auf:

1. Die Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Doppelrohrlampen ist kostenabhängig, d.h. vorrangig abhängig davon, ob aus der Produktion von gesellschaftlichen Bedarfsträgern und aus der Bevölkerung zurückgeführte Altlampen oder Produktionsausschußlampen aufbereitet werden sollen. Wichtiger aber ist die Rückgewinnung von Bauteilen mittels Trockenverfahren wegen ihres relativ ansprechenden Wertes, der im Vergleich zu den rückzugewinnenden Sekundärrohstoffen überproportional nutzensteigernd wirkt.
   Je höher also die Quote und die Qualität an zurückzuführenden Bauteilen, bzw. je höher der Veredlungsgrad der zurückzugewinnenden Wertstoffe ist, desto günstiger gestaltet sich deren Wiederaufbereitung. Einmalig höhere Aufwendungen für eine recyclinggerechte Konstruktion können durch niedrigen Aufbereitungsaufwand und höheren Veredlungsgrad der aufbereiteten Sekundärrohstoffe überkompensiert werden. Daher sollte stets einer Aufbereitungsvariante der Vorzug gegeben werden, bei der ein hoher Anteil an wiedergewinnbaren Baugruppen bzw. -teilen anfällt.
2. Volkswirtschaftlich wirkt sich nicht nur eine Senkung des Arbeitsaufwandes für die Herstellung einer mit einem Primärrohstoff vergleichbaren Gebrauchswerteinheit an Sekundärrohstoff vorteilhaft aus, sondern auch ein höherer Gebrauchswert des Sekundärrohstoffes selbst. Somit kann ein Nutzen entstehen
   — durch einen geringen Aufwand bei der Herstellung des Sekundärrohstoffes gegenüber einem vergleichbaren Primärrohstoff (Herstellernutzen)
   — durch die ökonomischen Auswirkungen, die durch den Einsatz des Sekundärrohstoffes anstelle des Primärrohstoffs im Nutzerbetrieb entstehen, wie eine Senkung der Produktionsselbstkosten durch einen geringen spezifischen Produktionsverbrauch, z.B. an Prozeßenergie, oder auch eine Vergrößerung der Erlöse durch höhere Produktionsqualität oder Sortimentsverbesserung (Anwendernutzen). Dieser widerspiegelt den höheren Gebrauchswert des Sekundärrohstoffs gegenüber dem Primärrohstoff [2].
   In bezug auf die Wiederaufbereitung von Doppelrohrlampen heißt das, die Sekundärrohstoffe möglichst sortenrein und ohne unerwünschte Beimengungen zu gewinnen.
   Somit gilt es, die Technologie der Aufbereitung so zu gestalten, daß Glasbruch, Buntmetallschrott, Altleuchtstoff und die rückgewinnbaren Bauteile separiert anfallen und Quecksilberkontaminationen ausgeschaltet werden.
3. Die Effektivität einer Aufbereitungstechnologie wird in hohem Maße durch das Preisniveau für Sekundärrohstoffe und deren Preisrelation zu Primärrohstoffen bestimmt.
   Besonders erweist sich das Fehlen von Preisen für Sekundärrohstoffe, die noch nicht in die Nomenklatur der Sekundärrohstoffe und Abprodukte aufgenommen sind, in unserem Beispiel für Altleuchtstoffe, als Hindernis für eine schnelle Praxisüberführung gewonnener Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Abproduktverwertung.
   Oftmals sind dann die Wirtschaftseinheiten gezwungen, auf Grundlage von Vereinbarungspreisen ohne exakte Beachtung der unterschiedlichen volkswirtschaftlichen Aufwände und unterschiedlich gelagerter Nutzeffekte zu kalkulieren. Dadurch kann der Effektivitätsnachweis für einzelne Aufbereitungsvarianten verzerrt werden.
4. Ein weiteres Problem ist die Quantifizierung des Nutzens, der sich in einer Verringerung der Umweltbelastung ausdrückt. Vor Beginn des industriellen Zeitalters reichte das Regenerationspotential der Natur allein voll aus, um die damals vor allem anfallenden zivilisatorischen Exkremente abzubauen. Mit dem Entstehen schwer abbaubarer Abprodukte und dem massenhaften Anfall solcher Abprodukte wurde dieses Regenerationspotential der Natur im Laufe der Zeit vielerorts überfordert. Der Mensch mußte eingreifen, um die natürliche Regeneration immer mehr durch gesellschaftliche Reproduktion zu ergänzen bzw. zu ersetzen [3]. Diese neuartigen Aufwendungen zur Sicherung der Regeneration der natürlichen Umwelt verkörpern gesellschaftlich notwendige Aufwendungen, die von der Gesellschaft als Ganzes bzw. von den Verursachern getragen werden müssen (1985 wurden in der DDR z.B. für wissenschaftliche Maßnahmen 849,2 Mill. Mark, für Rekultivierungsmaßnahmen 17,9 Mill. Mark verausgabt). Diesen hohen nachweisbaren Ausgaben stehen schwer quantifizierbare Nutzeffekte aus Umweltmaßnahmen gegenüber. Für die einzelnen Betriebe und Kombinate stellt sich vielfach der Nutzen allein im Wegfall der Deponiegebühren und eventueller Sanktionen gegen Umweltverschmutzung dar. Und diese fallen oftmals finanziell nicht ins Gewicht, so daß bei vielen Recycling-Projekten, abgesehen von ihrem in der Regel stoffwirtschaftlichen Effekt, aus der Sicht des Umweltschutzes keine unmittelbar in Kennziffern ausdrückbare Effektivitätssteigerung für den Anwenderbetrieb nachweisbar ist.
   Volkswirtschaftlich gesehen stehen allerdings dem Aufwand des einen Betriebes für Umweltschutzmaßnahmen stets Einsparungen an bisherigen Mehraufwendungen bzw. eine Schadensminimierung bei anderen Betrieben bzw. Territorien gegenüber, die in der Regel ein Mehrfaches der entsprechenden Aufwendungen ausmachen.

Diese Probleme stellen nur einen Ausschnitt der Fragen dar, die bei einem komplexen Herangehen an Fragen des Recyclings von Abprodukten beachtet werden müssen. Es wird jedoch deutlich, daß es nur in dem Maße gelingt, neue Abprodukte aufzubereiten und neue Recycling-Technologien einzuführen, wie der Nachweis der ökonomischen und ökologischen Effekte (auch gegenteilig wirkender) der Leistungssteigerung erfolgt.

Literatur

[1] *Mittag, G.:* Direktive des XI. Parteitages der SED zum Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft in der DDR in den Jahren 1986 bis 1990. Berlin: Dietz Verlag, 1986, S. 59–60

[2] *Bintig, K.-H.:* Die Wertermittlung bei mineralischen Sekundärrohstoffen als Grundlage für eine Preisfestlegung. Silikattechnik 36 (1985) 2, S. 54

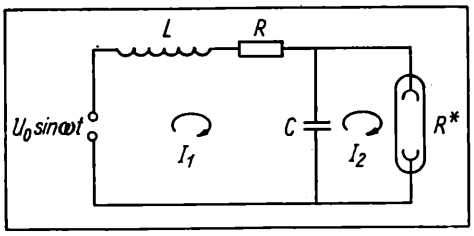
[3] *Pauche, H.; Streibel, G.:* Zur ökonomischen Bewertung von Naturressourcen. Wirtschaftswissenschaft 9 (1981) 29, S. 1068

EA 5748

Dynamische Modellierung von Leuchtstofflampenplasmen

R. Sonnenburg, KDT; H. Gündel, KDT; Berlin

Bild 1
Schaltung einer Leuchtstofflampe



In der langjährigen Geschichte der Leuchtstofflampen konnten durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit weltweit immer wieder entscheidende Verbesserungen der Leistungsmerkmale dieser Erzeugnisse erzielt werden. Grundlage für diese Leistungssteigerung bildete und bildet eine aufwendige experimentelle Technik, mit der es möglich ist, tieferen Einblick in die vielfältigen mikrophysikalischen Prozesse eines Lampenplasmas zu nehmen. Die so gewonnenen Erkenntnisse wiederum sind Basis und Prüfstein für die theoretische Beschreibung solcher Plasmen. Verfügt man über geeignete theoretische Modelle, können diese dem Entwickler bei der Optimierung vorhandener bzw. Entwicklung neuer Lampentypen eine wesentliche Hilfe sein, wenn mit solchen Modellen eine weitgehende Voruntersuchung zur Parametereinengung vorgenommen wird. Bisher werden allerdings solche Methoden für Leuchtstofflampen kaum angewendet, da die Komplexität des mathematischen Kalküls dieser Modelle eine numerische Behandlung erfordert, die in der Regel sehr leistungsfähige EDVA voraussetzt. Ungeachtet dessen gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Versuche einer rechnerischen Modellierung des Leuchtstofflampenplasmas.

Der überwiegende Teil der Arbeiten, die diesem Thema gewidmet sind, befaßt sich mit dem statischen Zustand, d.h. dem Fall der Gleichstromentladung. Dazu gehört die bisher wohl umfassendste Untersuchung des Leuchtstofflampenplasmas im Rahmen einer querschnittsgemittelten Theorie von *Winkler* und Mitarbeitern [1], die die genaue Form der Elektronenenergieverteilungsfunktion berücksichtigt. Auf frühere Arbeiten zu dieser Thematik finden sich dort im Literaturverzeichnis Hinweise. In anderen Veröffentlichungen werden speziell die radialen Eigenschaften der positiven Säule der Lampenplasmen untersucht [2]. Alle so erhaltenen Ergebnisse beziehen sich jedoch wegen der sehr aufwendigen Rechnungen auf einen kleinen Parameterbereich, so daß ein direkter Vergleich mit Leuchtstofflampen nur bedingt möglich ist. Da Leuchtstofflampen normalerweise im Wechselstrombetrieb arbeiten, wurden Versuche zur dynamischen Modellierung des Entladungsplasmas einer Leuchtstofflampe unternommen. In dieser Hinsicht ist eine Arbeit von *Polman* und Mitarbeitern hervorzuheben [4]. Hier wurde eine Entladung mit stark moduliertem Gleichstrom untersucht, wobei eine sinusförmige bzw. rechteckförmige Modulation des Stromes vorausgesetzt war. Diese Theorie liefert eine gute Übereinstimmung mit experimentellen Werten in einem weiten Frequenzbereich. Der noch vorhandene Gleichstromanteil in dem Modell macht aber auch hier einen direkten Vergleich mit herkömmlich betriebenen Leuchtstofflampen nicht möglich. Eine rein dynamische Theorie des Leuchtstofflampenplasmas wurde unseres Wissens erstmals von *Sonnenburg* und *Gündel* [3] gegeben. Nachfolgend wollen wir diese Theorie grob skizzieren und einige typische Ergebnisse vorstellen.

Dr. rer. nat. *Reinhard Sonnenburg* ist Mitarbeiter für Forschung und Entwicklung, Prof. Dr. sc. nat. *Harald Gündel* ist Direktor des Forschungszentrums für Lichttechnik im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" Berlin.

1. Das Grundgleichungssystem

Den Ausgangspunkt bildet die normale Schaltung einer mit 50 Hz betriebenen Leuchtstofflampe, bestehend aus einer Stromquelle, der Drosselspule L, den zur Lampe parallelen Starterkondensator C und der Lampe mit dem Widerstand R^* (Bild 1). Durch die Lösung der Differentialgleichung für die einzelnen Strommaschen

Bild 2. Zeitaufgelöster Verlauf der Lampenspannung während einer Halbperiode (*a*, *b*)

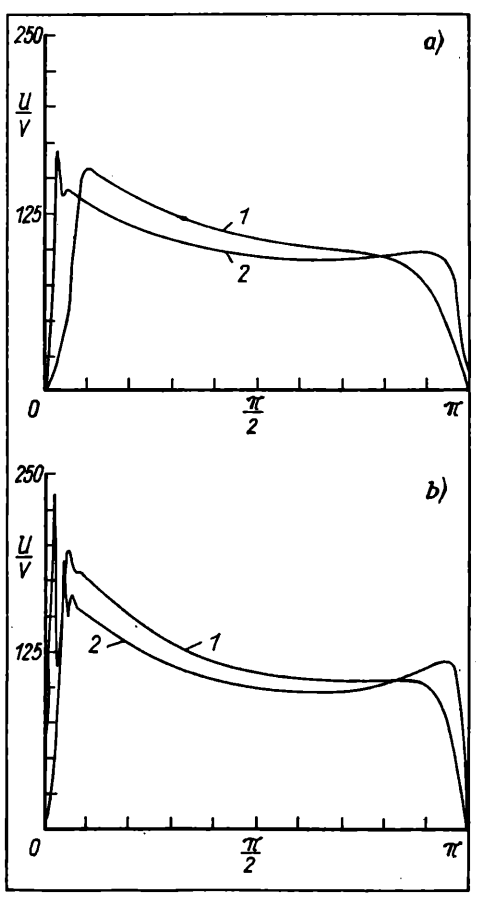


Bild 3. Zeitaufgelöster Verlauf des Lampenstroms während einer Halbperiode (*a*, *b*)

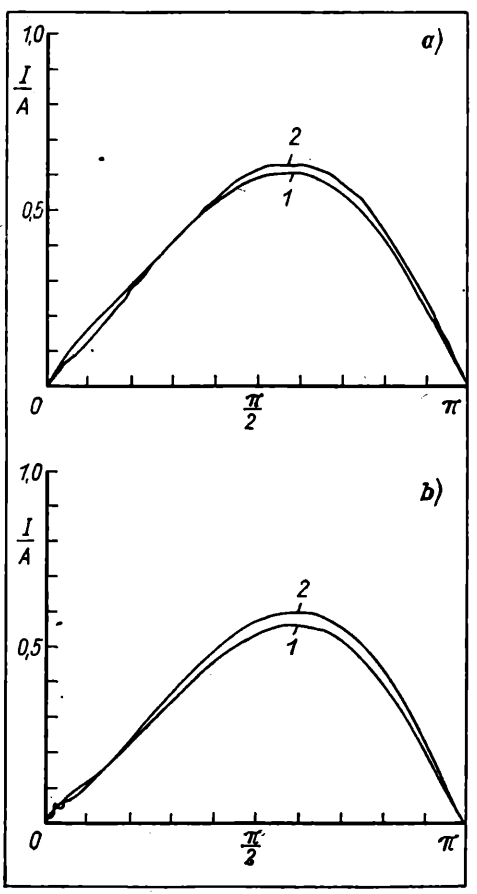
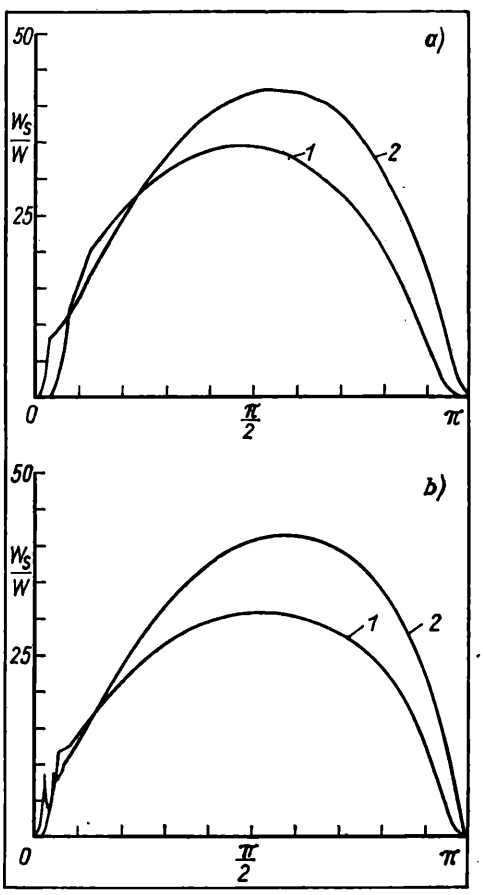


Bild 4. Zeitaufgelöster Verlauf der Strahlungsleistung der Linie 253,7 nm (*a*, *b*)



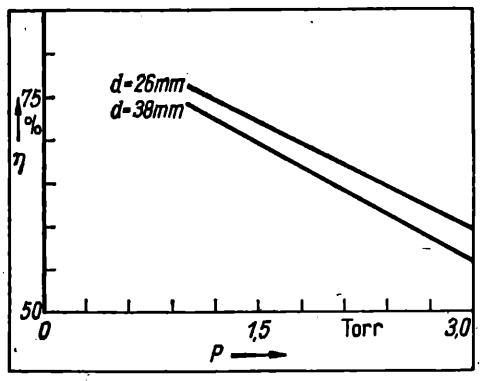


Bild 5
UV-Strahlungsausbeute

	3 Torr/38 mm Theorie/Experim.		1,5 Torr/26 mm Theorie/Experim.	
U in V	103	105,5	123	134,2
I in mA	430	423	405	366
P in W	40	40,5	40	39,7

Tafel 1. Berechnete Effektivwerte für Lampenstrom, -spannung und -leistung

läßt sich die Spannung an der Lampe ermitteln. Um den Widerstand R^* der Lampe zu berechnen, wird ein hydrodynamisches Plasmamodell benutzt, das eine Gleichgewichtsverteilung der Elektronenenergie voraussetzt. Die Abweichungen dieser Verteilung von der tatsächlichen Form wird durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt.
Der Widerstand der Lampe ist gegeben durch

$$R^* = \frac{l}{\pi R_a^2 e b_e n_e},$$

wobei l der Elektrodenabstand in der Lampe, R_a der Radius der Lampe, e die Elementarladung, b_e die Beweglichkeit der Elektronen und n_e die Konzentration der Elektronen sind.
Um die Beweglichkeit und Konzentration der Elektronen im Rahmen dieser Theorie zu bestimmen, werden die folgenden Bilanzgleichungen benötigt:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = N_{DI} - N_{DA} + N_{SI} \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_m}{\partial t} = N_A - N_{uv} - N_{SI} - N_L \quad (2)$$

$$\frac{\partial Ua}{t} = P_{el} + P_E + P_{ue} \quad (3)$$

N_{DI} Zuwachs an Elektronen durch Direktionisation
N_{DA} Verluste an Elektronen durch Diffusion
N_{SI} Zuwachs an Elektronen durch Stufenionisation
N_A Zuwachs an angeregten Quecksilberatomen durch Elektronenstoß
N_{uv} Verluste von Angeregten durch UV-Strahlung
N_{SI} Verluste von Angeregten durch Ionisation
N_L Verluste von Angeregten durch löschende Stöße
P_{el} Verlustleistung der Elektronen durch elastische Stöße
P_E Aufgenommene Leistung der Elektronen durch das äußere Feld
P_{ue} Verlustleistung der Elektronen durch unelastische Stöße mit Hg-Atomen
U_e Elektronenenergie
n_m Konzentration der Angeregten
t Zeit

Gleichung (1) ist also die Bestimmungsgleichung für die Elektronenkonzentration, (2) die Gleichung für die Angeregtenkonzentration und (3) die Gleichung für die Elektronenenergie.
Die simultane Lösung dieses Differentialgleichungssystems mit den Gleichungen für die elektrische Beschaltung erlaubt eine zeitaufgelöste Berechnung aller interessierenden elektrischen Parameter einer Leuchtstofflampe für gegebene Werte von Radius, Gasart, Gasdruck, Wandtemperatur und Entladungslänge sowie die Verläufe wichtiger mikrophysikalischer Größen gemäß Gleichungen (1) bis (3) in Abhängigkeit von diesen vorgegebenen Werten. Einzelheiten des Verfahrens finden sich in der Arbeit [3].

2. Ergebnisse

Einige Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen und in der Tabelle zusammengestellt. Die Rechnungen wurden für 50 Hz 220 V Netzspannung durchgeführt und die passiven Elemente der Schaltung (Bild 1) nicht geändert.
Bei den Abbildungen beziehen sich:

a1- auf 3 Torr Argondruck und 38 mm Durchmesser
a2- auf 1 Torr Argondruck und 38 mm Durchmesser
b1- auf 3 Torr Argondruck und 26 mm Durchmesser
b2- auf 1 Torr Argondruck und 26 mm Durchmesser.

Bilder, 2a, 2b, zeigen die zeitaufgelösten Spannungswerte einer Halbperiode für verschiedene Werte von Druck des Edelgases und Rohrdurchmesser. Die Kurven geben die charakteristischen Wiederzündspitzen nach dem Stromnulldurchgang in der Tendenz und den Absolutwerten sehr gut wieder. Je größer die Elektronenverluste im Plasma sind, was mit sinkendem Druck und kleinerem Durchmesser erreicht wird, um so stärker steigen die Amplituden dieser Spitzen. Die vor allem bei kleineren Druckwerten stark ausgeprägten Einschwingvorgänge nach dem Wiederzünden werden auch experimentell beobachtet und sind auf die Beschaltung der Lampe zurückzuführen. Da der Einfluß der Elektrodengebiete nur durch konstante Faktoren berücksichtigt werden kann, ist der Schluß möglich, daß die Elektrodengebiete keinen Einfluß auf die Form der Wiederzündspitzen haben.
In den Bildern 3a, 3b sind die zugehörigen Stromverläufe dargestellt. Ebenso wie bei realen Lampen liegt auch in unseren Rechnungen das Strommaximum nicht bei $\pi/2$, sondern es ist etwas zu größeren Werten verschoben. Die Abweichungen von der Sinusform sind offensichtlich.
Die zeitlichen Strahlungsverläufe der Linie 253,7 nm kann man aus den Bildern 4a, 4b entnehmen. Deutlich zeigen sich die starke Modulation und die relativ großen Strahlungspausen beim Stromnulldurchgang.
Die Strahlungsausbeute der UV-Linie 253,7 nm für ein 26 mm und ein 38 mm Rohr in Abhängigkeit vom Druck ist im Bild 5 dargestellt. Die Kurven entsprechen in der Tendenz dem zu erwartenden und vom Experiment bestätigten Verhalten. Die Absolutwerte unterscheiden sich von der Realität um etwa 5 bis 10 %.
Eine Gegenüberstellung von berechneten Effektivwerten für Lampenstrom, Lampenspannung und -leistung zu Katalogangaben bzw. Meßwerten gibt Tafel 1. Die Übereinstimmung der Werte der Theorie mit denen realer Lampen ist zufriedenstellend.

Literatur

[1] *Winkler, R. B.; Wilhelm, J.; Winkler, R.:* Ann. Physik, Leipzig 40 (1983) S. 90; 40 (1983) S. 119
[2] *Dakin, J. T.:* CRD (1986) NO. 86CRDO31
[3] *Sonnenburg, R.; Gündel, H.:* Beitr. Plasmaphys. (im Druck)
[4] *Polman, J.; Van der Werf, W. E.; Drop, P. C.:* J. Phys. Lond. D.: Appl. Phys. 5 (1972), S. 266

EA 5750

VEM-Taschenbuch
Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagen

Herausgeber: Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin
Autorenkollektiv, redaktionelle Leitung Prof. Dr. sc. techn. *Volkmar Pfeiler*. 4., stark bearbeitete Auflage 1987. Etwa 780 Seiten, 511 Bilder, 444 Tafeln. Kunstleder 19,80 Mark. Bestellnummer 5534487

Das VEM-Taschenbuch Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagen hat sich als Arbeitsmittel und Nachschlagewerk für in der Praxis tätige Elektroingenieure, Techniker und Facharbeiter sowie für Studenten an Hoch- und Fachschulen bewährt. Sein besonderer Wert liegt in der praxisnahen Aufbereitung problemorientierter Arbeitsunterlagen, die wesentlich zur Rationalisierung der technischen Vorbereitung im Industriezweig beitragen. Der Inhalt stützt sich auf Vorschriften und Richtlinien, die bei der Projektierung Errichtung und beim Betrieb von Anlagen einzuhalten sind, auf hierfür entwickelte Entwurfs- und Berechnungsverfahren sowie die wichtigsten Erzeugnisse für die Aufgabenrealisierung.

Die Redaktion

31. Session der CIGRE 1986

Die 31. Session der CIGRE fand vom 27. August bis 4. September 1986 wiederum in den Räumen der ASSAS-Universität in Paris statt.
Über 2300 Teilnehmer aus 70 Ländern gestalteten diesen Weltkongreß erneut zu einem vollen Erfolg. Die 31. Session wurde durch den Minister für Handel der Republik Frankreich eröffnet.
Der zunehmenden Rolle des Technikers und der Technik für die gesellschaftliche Entwicklung Rechnung tragend, wurde von Prof. *Th. P. Huegbes* (Pennsylvania-Universität) die Diskussion durch einen Plenarvortrag zum Thema „Der Ingenieur der Zukunft — ein Systemgestalter und -Beherrscher" eingeleitet.
Die DDR hatte zu dieser Session mit 4 Fachberichten beigetragen. Es war aufs neue erfreulich zu erleben, wie in den außerordentlich konstruktiv geführten Diskussionen die Ingenieure und Wissenschaftler von allen Kontinenten bemüht waren, dem Gesamtanliegen der CIGRE zu dienen, den Austausch von praktischen Erfahrungen zu allen Problemen der Elektroenergie-Übertragung zwischen den Ländern zu fördern.
Die Vertreter der DDR-Delegation waren bemüht, die Tagungsberichte und die Diskussionsbeiträge in angemessener Form zusammenzufassen und alle Aspekte herauszustellen, die unseren Leserkreis besonders interessieren. Nachstehend die Kurzberichte zu den einzelnen Forschungskomitees in der bewährten Darstellung.

Prof. Dr.-Ing. *Ottmar Müller*
Präsident des Nationalkomitees CIGRE der DDR

EA 2344

SC 11: Rotierende Maschinen

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. *M. Kahle*

Schwerpunkte:

1. Praxis der Betriebsüberwachung und der Datenverarbeitung für die Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit großer Synchronmaschinen
2. Spezialmotoren, einschließlich variabler Antriebe, für thermische und Kernkraftwerke — Auslegung und Betriebserfahrung
3. Diagnosemethoden und Modernisierungsstrategien zur Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit vorhandener elektrischer Einrichtungen

Ergebnisse:

Gegenwärtig ist die Entwicklungszielrichtung auf dem Gebiet großer elektrischer Maschinen im hohen Maß auf die Erhöhung der Zuverlässigkeit und auf die bessere Ausnutzung der Lebensdauerreserven konzentriert.
Die Anwendung der Mikrorechentechnik und mikroelektronischer Steuerungssysteme ermöglicht einen bedeutenden Fortschritt auf diesem Sektor. Die Tagung war weitgehend solchen Problemkreisen gewidmet.

1. Betriebsüberwachung großer Synchronmaschinen

Neue Entwicklungen und Betriebserfahrungen mit Überwachungssystemen und die Anwendung spezieller Sensoren sowie Informationsübertragungseinrichtungen standen zur Diskussion. Im Bericht 11-04 werden Ziele der Überwachung des Rotors genannt: Fehlererkennung zu einem sehr frühen Zeitpunkt, Bestimmung der Art des Fehlers zur Ableitung einer Weiterbetriebsstrategie und Überprüfung der Fehlerentwicklung.
Vibrationsmessungen an den Lagern und an der Welle werden über mathematische Modelle off-line analysiert, wenn Abweichungen vom Kennlinienfeld auftreten.

Prof. Dr.-Ing. *Manfred Kahle* ist Leiter des Wissenschaftsbereiches der Isolier- und Hochspannungstechnik der TH Ilmenau.

Lastabhängige Kennlinien liegen als Vergleichsgrößen vor. Die Überwachung der Rotorwicklungen geschieht über Strom- und Spannungsmessungen, Temperaturbestimmung und Analyse des Isolationsstromes. Im Luftspalt werden Detektionsspulen für Windungsschlüsse angebracht. Eine radiofrequente Magnetfeldüberwachung zur Detektion der Funkenbildung an den Schleifringen wird benutzt. Mit den eingesetzten Methoden konnten starke Beschädigungen und unplanmäßige Abschaltungen bei 500- und 600-MW-Einheiten verhindert werden. Ein Luftspaltmeßsystem beschreibt 15-02. Es besteht aus Lichtquelle, optischem Aufnehmer und Reflexionsmarken. Die Messung ist eine optische Triangulation auf der Basis der Impulsabstandsmessung. Kreisdiagramme stehen zur Analyse der Veränderung ständig zur Verfügung.
Induktorkappen sind an der aufgeschrumpften Oberfläche häufig einer mechanischen Alterung mit Mikrorißbildung ausgesetzt. Bericht 11-10 gibt einen Überblick über eine Ultraschallinspektionsmethode und die computergestützten Auswerteeinrichtungen. Über Modelluntersuchungen und Erfahrungen bei 1000 und 1500 MW Turbogeneratoren in Frankreich wird berichtet. Defekte von 1 bis 2 mm können nachgewiesen werden.
Ergebnisse zur Überwachung der Nutkorona, der Blechpaketpressung, der Bruchleitung, der Wicklungslockerung durch Vibrationsanalyse und schließlich der Lager- und Wellenschwingungen werden in 11-01 vorgestellt. Die hohe Zahl von Einflußgrößen auf die Zuverlässigkeit von Generatoren führt zu ständig steigendem Umfang des Einsatzes von spezifischen Sensoren. Aus den Überwachungsdaten müssen Schlußfolgerungen gezogen werden, die eine optimale Betriebsführung gestatten. Es erscheint daher angebracht, ein Expertensystem anzuwenden. Bericht 11-07 gibt einen Überblick über den Einsatz eines solchen Systems und beschreibt die differenzierte Zuweisung von aufbereiteten Daten für die Entscheidung durch das Bedienungspersonal.
Die gesamten Hard- und Softwarekosten werden in der Größenordnung der Einsparungen *eines* Ausfalltages angegeben.

2. Spezielle Antriebe

Hauptgegenstand der Diskussion waren die Berichte 11-08, 11-13 und 11-15 zu Fragen von drehzahlvariablen Hilfsantrieben auf der Basis statischer Umrichter und des Einsatzes von Synchron- und Asynchronmotoren. Es herrschte Übereinstimmung über die technologischen Vorteile und die Energieeinsparung bei gesteuerten Lüfter- und Speisepumpenantrieben; unterschiedliche Auffassungen und Erfahrungen wurden zur Wahl des Motortyps deutlich. Dabei spielten neben der Effektivitätskennziffer im starken Maße auch Investkosten und insbesondere Zuverlässigkeitsprobleme eine Rolle. Es wurde mehrfach der Versuch unternommen, lastabhängige Auswahlkriterien zu schaffen.

3. Diagnosemethoden zur Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit

In vielen Fällen können die Überwachungsmethoden auch als Diagnoseverfahren zur genaueren Erforschung von Fehlerursachen verwendet werden. Häufig müssen jedoch zusätzliche Maßnahmen eingeleitet werden, um Zusammenhänge und Schadensentwicklungstendenzen erkennen zu können.
11-11 gibt Auskunft über ein Testpaket zur Analyse des Zustandes der Ständerwicklungsisolierung von Generatoren. Das vorgestellte System ist in einem Kleintransporter mit Lastenanhänger untergebracht. Es umfaßt Möglichkeiten der Messung dielektrischer Größen, der Ultraschalldetektion und spezieller Gasanalysen.
Eine Reihe von Diagrammen zur Charakterisierung von Alterungs- und Fehlererscheinungen wird diskutiert.
Methoden der Heißpunktkontrolle bei lokalen Schädigungen des Blechpaketes des Stators im Nutbereich und der Delaminierungsüberprüfung werden in 11-01 vorgestellt. In diesem Bericht wird auch die Messung der Lockerung von Generatorstäben beschrieben. Es handelt sich dabei um eine Schwingungsanregung mit Aufnahme des angeregten Frequenzspektrums. Es wird im Bereich bis 20 kHz die Veränderung der spektralen Verteilung gemessen.

Besonders deutlich wird eine Lockerung durch Amplitudenvergrößerung im Bereich von 4 ··· 10 kHz registriert. Weiterhin wird die Verwendung von Antennen zur Aufnahme der Nutkoronastörsignale und deren Ortung diskutiert.
Auch in Australien werden umfangreiche Diagnosemaßnahmen zur Zustandserfassung von 500-MW-Maschinen eingeführt. Schwerpunkte sind dabei elektrische Tests und mechanische Schwingungsmessungen. Es wird u.a. mit einer Impulsanregung am Ständer und einer Beschleunigungsmessung am Wickelkopf gearbeitet, um die mechanische Festigkeit der Wicklungsenden zu testen.
Eine interessante Diagnosemethode zur Überprüfung des Alterungszustandes von Generatorständerisolierungen ist die Feststellung der Abbaudynamik von Ladungen, die sich im Teilentladungsprozeß akkumuliert haben. Auf dieser physikalischen Grundlage wurde ein Gerät aufgebaut (11-12), das die Teilentladungen registriert, Schwachpunkte in der Isolierung aufdeckt und den Alterungszustand der Isolierung quantifiziert. In einem gewissen Grade sind daraus Festigkeitsprognosen ableitbar.
Die lebhafte Diskussion in der Plenartagung des SC 11 zeigte, daß überall dort, wo größere Leistungseinheiten elektrischer Maschinen im Einsatz sind, beachtliche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ausgelöst wurden, um Lebensdauerreserven zu mobilisieren und damit Investitionen zu reduzieren und insbesondere die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu erhöhen.
In der Anwendung komplexer Diagnostik wird dazu ein wesentlicher Schlüssel gesehen. EA 2357

SC 12: Transformatoren

Berichterstatter: Dr.-Ing. *J. Schmidt*

Schwerpunkte:

1. Spezialtransformatoren
2. Diagnoseverfahren zur Betriebsüberwachung von Transformatoren
3. Anwendung neuer Werkstoffe für den Transformatorenbau

Ergebnisse:

1. Transformatoren für spezielle Anwendungsfälle

(Berichte: 12-02, 12-03, 12-04, 12-08, 12-10, 12-11, 12-13, 12-15)

Unter dieser Überschrift diskutierte die Gruppe 12 die Probleme der Entwicklung, Prüfung und Betrieb von großen Transformatoren für die HGÜ und, erstmalig in IGRE, auch die der Gleichrichter- und Ofentransformatoren.
Bei Transformatoren für die HGÜ standen im Mittelpunkt des Interesses:

- geeignete Verfahren und Pegel für die dielektrischen Prüfungen
- Methoden zur Bestimmung der Lastverluste
- Methoden und Erfahrungen zur Bestimmung der Kernverluste, Magnetisierungsströme und Kerngeräusche.

Die nationalen Prüfstandards für HGÜ-Transformatoren weichen in den Prüfanforderungen z.T. erheblich voneinander ab. Eine Harmonisierung wird angestrebt, wobei zusätzlich zu den normalen Prüfungen Langzeitprüfungen mit Gleichspannung sowie ein- oder mehrmalige schnelle Polaritätsumkehr nach mindestens 1 h Prüfdauer und Bewertung des TE-Verhaltens in den letzten 10 min dieser Prüfung allgemein akzeptiert werden. Die Höhe der Prüfspannungen ist noch strittig. Gründe dafür sind noch ungeklärte Phänomene, die die Feldstärkeverteilung in den Transformatorisolierungen bei Gleichspannungsbeanspruchung maßgeblich mit bestimmen und die durch eine konservative Auslegungsphilosophie, d.h. durch reichliche Isolierungsabmessungen und hohe Prüfspannungen, global mit berücksichtigt werden müssen. Die zeitlichen Veränderungen des elektrischen Feldes in einer Öl-Barrierenisolierung nach Anlegen einer Gleichspannung (siehe Bild 1) zeigt deutlich den Einfluß von Raumladungen an, die sich in diesem System bei normalen Betriebsfeldstärken ausbilden.
Zur Ermittlung der durch Stromoberwellen verursachten Wicklungsverluste wurde eine Methode vorgestellt, die auf der Basis von Messungen des Gleichstromwiderstandes und der Zusatzverluste bei 50 Hz die Lastverluste bei bekannter nichtsinusförmiger Strombelastung näherungsweise zu berechnen gestattet (Bericht 12-15).
Die Wirkung der Gleichstromkomponente auf den Transformatorenkern wurde wie folgt abgeschätzt: merkliche Erhöhung der Kernverluste (um 15—20%), erhebliche Erhöhung des Leerlaufstromes (bis zu 100%), während bezüglich des Geräuschanstiegs unterschiedliche Meinungen vertreten wurden.
Für Ofentransformatoren ergeben sich besondere Anforderungen aus den hohen Sekundärströmen und deren gleichmäßige Aufteilung auf Wicklungsteile und Phasen sowie aus dem sehr häufigen Schalten dieser Transformatoren, die über Kabel oder kurze Stichleitungen vom Netz gespeist werden. Durch Schalthandlungen verursachte, hohe resonanzfrequente Spannungen treten insbesondere im Bereich der Stufenwicklung auf.
Zu ihrer Begrenzung werden empfohlen:

- ZnO-Varistoren parallel zu den Stufenwicklungsanzapfungen schalten
- *R-C*-Kombinationen in den Schaltanlagen installieren
- spezielle Dämpfungsspulen innerhalb der Stufenwicklung anordnen.

2. Diagnoseverfahren zur Betriebsüberwachung von Transformatoren

(Berichte: 12-01, 12-05, 12-06, 12-07)

Hot-spot-Detektion: Die Einführung neuer Belastungsrichtlinien für Transformatoren in IEC 354 und neue Anforderungen der Transformatorenbetreiber hinsichtlich kurz- und langfristiger Notbelastungen der Transformatoren zwingen zur direkten Messung der Hot-spot-Temperaturen. So wird z.B. der Faktor *K1* obiger IEC Publikation, mit dem die Überhöhung der Hot-spot-Temperatur über der Öltemperatur „oben" bestimmt wird, von bisher 1,1 auf 1,3 heraufgesetzt und die Transformatorenbetreiber fordern den experimentiellen Nachweis für die Größe des Faktors *K1*, was letztlich nur mit Hilfe faseroptischer Temperaturmeßeinrichtungen möglich ist. Diese Meßeinrichtungen besitzen eine hohe Genauigkeit, es fehlen jedoch noch Erfahrungen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit unter den relativ rauhen Fertigungs- und Betriebsbedingungen des Großtransformators. TE-Messungen vor Ort: Mehrere Diskussionsbeiträge befaßten sich mit der erfolgreichen Ortung von TE-Stellen in Transformatoren mit Hilfe akustischer Ortungsverfahren mit Frequenzen bis zu 200 kHz. Auch eine kontinuierliche TE-Messung an Transformatoren wird für normale Grundstörpegel des Netzes ($\leqq$ 20 bis 40000 pC) für möglich gehalten.
Im Bericht 12-01 wird ein Diagnoseverfahren vorgestellt, in dem die Überspannungs- und Überstrombelastungen mit der Verschlechterung der Isolationseigenschaften korreliert werden. Die Überspannungen und -ströme werden mit hoher Zeitauflösung mit Hilfe spezieller Sensoren registriert und als Isolationskennwerte die TE und 4 im Öl gelöste Fehlergaskomponenten (CO, C2H4, C2H2 und H2) kontinuierlich gemessen.
Ein mikrorechnergesteuertes Datenerfas-

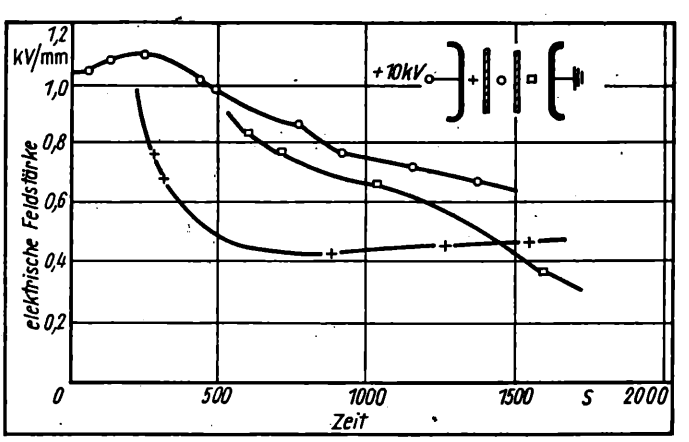


Bild 1
Zeitliche Entwicklung des elektrischen Feldes in einer Öl-Barrieren-Isolierung mit 2 Barrieren nach Anlegen einer Gleichspannung (nach 12-04)

Dr.-Ing. *Joachim Schmidt* ist Leiter des Hochspannungslabors im VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin.

sungssystem digitalisiert, speichert und verdichtet die Meßergebnisse.
Die Zweckmäßigkeit einer ölgasanalytischen Betriebsüberwachung von Durchführungen wurde wegen des hohen Aufwandes und der oft diffizilen Probennahme angezweifelt. Für bestimmte Fälle wurde vorgeschlagen, die Ölseite der Durchführung mit einem öl- und gasdichten Isolierbalg zu umgeben und das Öl aus dem Zwischenraum Balg/Durchführungsoberfläche zur Beurteilung zu entnehmen.

3. Anwendung neuer Werkstoffe

(Berichte: 12-09, 12-12, 12-14)

Verlustarme Kernbleche: Für amorphes, weichmagnetisches Band wird in absehbarer Zeit keine Einsatzmöglichkeit als Kernmaterial von Großtransformatoren gesehen. Die Kapitalisierungsrate für Leerlaufverluste scheint sich zu stabilisieren, so daß z. Z. keine kostspieligen Entwicklungen auf dem Gebiet der Kernbleche gerechtfertigt sind. Die hochwertigen Kernblechsorten bringen in Verbindung mit einer Laserritzung eine weitere Verlustabsenkung um 15 %.
Weiterhin wurde vorgeschlagen, die Einzelblechmessung zur Bestimmung der Verluste der Kernbleche und der Kernblechisolation als Standard einzuführen.
Isolierstoffe mit höherer Wärmebeständigkeit: Für den Transformatorenbau haben sich bisher nur die auf der Basis von Aramid fasern hergestellten Papiere bewährt, welche ölverträglich sind und Temperaturen bis zu 180 °C zulassen. Ihre Anwendung im Großtransformatorenbau ist nicht nur wegen des hohen Preises, sondern auch wegen der bei z. B. 150 °C Wicklungstemperatur um 30 % höheren Wicklungsverluste unökonomisch. Der Anwendungsbereich dieser Isolierstoffe liegt eindeutig auf dem Gebiet der Lokomotiv- und Spezialtransformatoren.
Neue Konstruktionswerkstoffe für den Großtransformatorenbau: zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Isolierstoff-Druckplatten wurden Varianten von Platten aus Preßlagenholz vorgestellt, die ein- oder beidseitig mit einer glasfaserverstärkten Epoxidharzschicht belegt sind. Ihre erhöhten mechanischen Festigkeiten lassen eine Reduzierung der Plattendicke zu. Andererseits wurde daran erinnert, daß eine Erhöhung der Temperatur von 120 °C auf 180 °C die mechanische Festigkeit um 75 % reduziert.
Gasisolation: Gasisolierte Transformatoren sind wegen des höheren Material- und Kühlungsaufwandes teurer als normale Öltransformatoren. Ihr Einsatz ist gerechtfertigt, wenn hinsichtlich Feuersicherheit erhöhte Anforderungen gestellt sind. An einem Beispiel wurde gezeigt, daß der Einbau eines gasisolierten Transformators in ein Gebäude auch ökonomisch gerechtfertigt ist, wenn die Kosten der gesamten Installation und die des umbauten Raumes mit in die Kostenrechnung einbezogen werden.

Berichte der Gr. 12

12-01: *Maleswki, R.; Douville, J.; Belanger, G.* (Canada):
Insulation diagnostic system for HV power transformers in service

12-02: *Hamos, I.; Kerenyi, D.* (Hungary):
Experience with the 750 kV transformers on the Hungarian electric system, acquired during on site testing

12-03: *Watson J. G.; Raju, B. P.; Stinton, C. C.* (United Kingdom); *Kennedy, W. N.* (United States):
Special features of transformers for HVDC transmission with particular reference to the converter transformers for the CEGB Sellindge terminal

12-04: *Gaefvert, U.; Spicar, E.* (Sweden):
Space-charge and field distribution in transformers under DC stress

12-05: *Kawamura, T.; Yamaoka, M.; Kawada, H.; Ando, K.; Maeda, T.; Takatsu, T.* (Japan):
Analysing gases dissolved in oil and its application to maintenance of transformers

12-06: *Pratt, F. C.* (Paper presented in the name of Study Committee 12):
Diagnostic methods for transformers in sevice

12-07: *Wilputte, R.; Randoux, M.* (Belgium):
Experience obtained with the routine testing of the insulating oils of power transformers on the Belgian system

12-08: *Müller, W.; Knorr, W.; Schultz, W.* (Fed. Rep. of Germany):
Switching, protection and damping of arc furnace transformers windings

12-09: *Baehr, R.* (Paper presented in the name of Study Commitee 12):
Applications of new materials for power transformers

12-10: *Meyer, P.; Svensen, O. H.* (Norway):
The shell form transformer used as furnace transformer

12-11: *Jablonski, M.; Kozlowska, A.* (Poland):
Influence of asymmetrical circuit conditions on the operation and design of furnace transformers

12-12: *Moser, H. P.; Dahinden, V.; Brupbacher, P.; Schneider, E.; Hummel, H.; Schneider, E.; Potochik, O.; Ammann, R.; Brechna, H.; Zpger, F.* (Switzerland):
Applications of cellulosic and non cellulosic materials in power transformers

12-13: *Lokhanin, A. K.; Sukhanov, V. M.; Topoliansky, E. L.; Voevodin, I. D.; Zaitsev, V. I.* (USSR):
Converter transformers for +/− 750 kV HVDC system

12-14: *Teichmann, H. T.*:
International standardisation of magnetic steels for power transformers cores

12-15: *Babare, A.; Bossi, A.; Caprio, G.; Calabro, S.; Coppadoro, F.; Arturi, C. M.; Crepaz, S.* (Italy):
Conventional and actual load losses in HVDC transformers

EA 2346

SC 13: Schaltgeräte

Berichterstatter: Prof. Dr. sc. nat. *W. Rother*

Schwerpunkte:

1. Antriebsmechanismen für Hochspannungs- Leistungsschalter, Stand der Technik; Entwicklungstrends in den Richtungen
   - — Reduzierung der Antriebsenergie
   - — Bevorzugung einer bestimmten Antriebsart, z. B. hinsichtlich der Spannungsebene
   - — Verwendung von Berechnungs- und Prüf-Verfahren für Entwicklung und Optimierung
2. Vorgänge in Vakuum-Schaltern
   - — Vorgänge beim Ein- und Ausschalten
   - — Entladungsmoden (diffuse Entladung, eingeschnürter Bogen, Übergangsbedingungen)
   - — praktische Anwendung des eingeschnürten Bogens und der diffusen Entladung (gegenwärtiger Stand und Entwicklungstrends)
   - — Verwendung von Berechnungs- und Prüfverfahren für die Entwicklung und Optimierung
3. Lastschalter und Last-Trennschalter ab 3,6 kV
   - — Beanspruchungen
   - — Anwendung verschiedener Löschmedien (Vorteile, Probleme, Grenzen, Entwicklungstrends)

Ergebnisse:

1. Antriebsmechanismen für Hochspannungs-Leistungsschalter

(Berichte: 13-02, 13-03, 13-05, 13-07, 13-12)

Stand auf der 30. Session 1984 die theoretische Erfassung der Vorgänge im Schaltlichtbogen während des Stromnulldurchganges und ihre Auswirkung auf das Schaltvermögen im Mittelpunkt, so hat sich jetzt das Interesse den Vorgängen im Hochstrombereich zugewandt. Bei Kenntnis der Wechselwirkung des Hochstrombogens mit der Gasströmung im Düsensystem eines Blaskolbenschalters ist man in der Lage, die während des Ausschaltvorgangs notwendigen Antriebskräfte zu berechnen. Neben der Einsparung kosten- und zeitaufwendiger Experimente ergibt sich für den Schalterhersteller die Möglichkeit einer theoretisch fundierten Minimierung der Antriebsenergie. Während im DDR-Beitrag 13-02 ausführlich ein solches „Schalter-Modell" beschrieben wird, lassen die Beiträge 13-03, 13-05 und 13-12 indirekt erkennen, daß ähnliche Modelle zur Antriebsanpassung Verwendung fanden. Dies wurde auch in entsprechenden Diskussionsbeiträgen bestätigt.
Die Lichtbogenenergie wird im sogenannten Selbstblasschalter bereits seit vielen Jahren benutzt, um Kompressionsenergie einzusparen. Bild 1 demonstriert, welche Reserven bei genauer Kenntnis der Vorgänge in der Schaltkammer genutzt werden können. Die Angaben in Bild 1 beziehen sich auf MS-SF_6-Leistungsschalter 7,2 bis 36 kV. Auf der Tagung wurde eingeschätzt, daß die Nutzung der Lichtbogenenergie zur Entlastung des Antriebes in Zukunft auch bei höheren Spannungen angewendet werden wird.
Zur Frage der günstigsten Antriebsart (Federspeicher-, pneumatischer oder hydraulischer Antrieb) gab es — wie zu erwarten war — keine eindeutige Aussage. Die vorgestellten Vergleiche konnten nicht überzeugen, da aus ihnen nicht hervorging, ob in die Gegenüberstellung jeweils der letzte Entwicklungsstand der einzelnen Firmen berücksichtigt wurde. Ferner fehlte ein Kostenvergleich. Hier müssen objektive Untersuchungen durchgeführt werden.

2. Vorgänge in Vakuumschaltern

(Berichte: 13-01, 13-06, 13-08, 13-11, 13-13)

Einen Schwerpunkt stellen die Beiträge dar, die sich mit der Erhöhung des Schaltvermögens befaßten, d. h. mit einer Ver-

Prof. Dr. sc. nat. *Wolfgang Rother* ist Inhaber des Lehrstuhles Plasma- und Schalttechnik an der Sektion Elektrotechnik der TH Ilmenau.

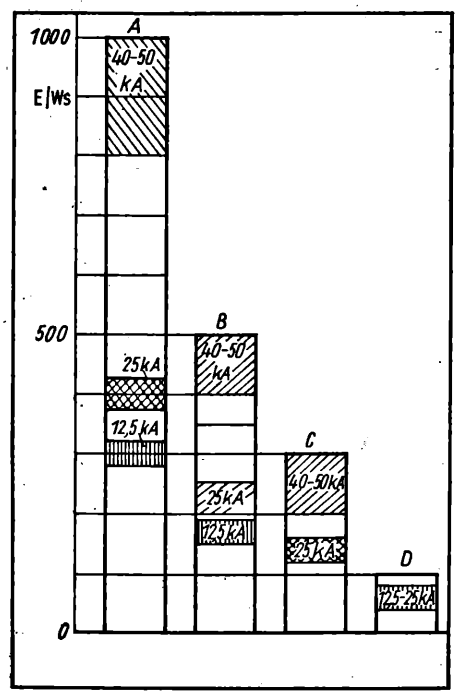


Bild 1. Entwicklung der Ausschaltenergie (*E*) für Leistungsschalter 7,2 ··· 36 kV als Funktion von
— verwendetem Antriebsprinzip
— Schaltvermögen in kA
aus Bericht 13-03
A Blaskolbenprinzip; *B* Blaskolbenprinzip + Nutzung der thermischen Expansion des Schaltgases (SF_6); *C* Thermische Expansion + rotierender Lichtbogen; *D* Thermische Expansion oder rotierender Lichtbogen

schiebung des Überganges vom diffusen Bogen zum kontrahierten Anodenfußpunkt zu höheren Stromstärken.

Zu dieser Problematik wird in 13-06 über grundsätzliche Untersuchungen berichtet. In 13-01 wird eine neue Katodenform vorgestellt, mit der nicht nur ein höheres Schaltvermögen erreicht wird, gleichzeitig können die Abmessungen des Vakuumgefäßes reduziert werden. Auffallend ist der Einsatz modernster Meßtechnik zur Untersuchung der Anodenphänomene. In 13-01 und 13-06 werden Hochgeschwindigkeits- und Bildwandlerkameras verwendet; aus der Diskussion ergaben sich Hinweise auf die Anwendung der Laser-Schlieren-Methode sowie der laserinduzierten Fluorreszenz.

Mathematische Modelle — ähnlich denen für den SF_6-Leistungsschalter — zur Berechnung des Verhaltens des Vakuumschalters beim Schaltvorgang wurden nicht vorgestellt. In 13-08 wird lediglich über eine statistische Aufbereitung eines umfangreichen Meßprogrammes berichtet. Mit diesem Simulationsprogramm kann dann die auftretende Überspannung berechnet werden.

Eine lebhafte Diskussion lösten die Beiträge 13-11 und 13-13 zu der Frage aus, ob das Wiederzündverhalten der Vakuumstrecke durch Änderungen der entsprechenden Standards Berücksichtigung finden müßte. Es setzte sich dann die Meinung durch, daß „sich die Standards an den Forderungen des Netzes orientieren müssen und nicht die Aufgabe haben, physikalische Vorgänge zu klären".

3. Lastschalter und Last-Trennschalter

(Berichte: 13-04, 13-09, 13-10)

Innerhalb dieses Themenkreises befassen sich die drei Beiträge mit sehr unterschiedlichen Problemen.

In 13-04 wird ein SF_6-Schalter vorgestellt, der mit dem Selbstblasprinzip arbeitet. Durch Änderung des Gasdruckes und Erhöhung der Antriebsenergie kann das Schaltvermögen des Schalters verschiedenen Einsatzfällen angepaßt werden. Bei der Entwicklung des Schalters fand ein Lichtbogen-Modell Verwendung, wie es bereits beim ersten Schwerpunkt skizziert wurde.

Im Beitrag 13-09 wird ein Teleskop-Trenner für Spannungen bis 800 kV beschrieben. Er soll die räumliche Ausdehnung von Freiluft-Schaltanlagen merklich verkleinern.

Über die Erfahrungen beim Einsatz von WS-Schaltern in einem HS-Gleichstrom-Terminal (Wasserkraftwerk ITAIPU) wird im Beitrag 13-10 berichtet. Die WS-Schalter konnten z.T. unmittelbar eingesetzt werden, in bestimmten Fällen waren leichte Modifikationen notwendig. Dieser Beitrag unterstreicht die Notwendigkeit, Vorschriften für Schalterbeanspruchung und Prüfmethoden für HVDC-Systeme international zu koordinieren.

Berichte der Gr. 13

13-01: *Falkingham, L. T.* (United Kingdom): Recent advances in vacuum interrupter design
13-02: *Drebenstedt, H.;* a. o. (German Dem. Rep.): Support of the development of HV circuit-breakers by a mathematical breaker model
13-03: *Ruffleux, S.;* a. o. (Switzerland/*France*): Evolution of controls for 7.2 to 36 kV SF_6 circuit-breakers related to progress in breaking techniques
13-04: *Vávra, Z.;* a. o. (Czechoslovakia): Application of calculation methods in the development of SF_6 HV switches
13-05: *Eggert, H.;* a. o. (Fed. Rep. of Germany): Operating technology for SF_6 puffer breakers. Development, production and service experience
13-06: *Fischer, R.;* a. o. (Fred. Rep. of Germany): Origin and temporal evolution of anode spot formation and arc constriction in vacuum circuit-breakers
13-07: *Belan, G.;* a. o. (Rumania): Ten years experieence on service behaviour of reliability and maintenance of circuit-breakers
13-08: *Quian Jiali;* a. o. (China): Computer aided analysis of switching overvoltage interrupting inductive current by vacuum switches
13-09: *Thuries, E.;* a. o. (France): Testing and calculation methods for the development of a family of 145 kV to 800 kV telescopic disconnectors in conformity with IEC standard specifications
13-10: *Frontin, S. O.;* a. a. (Brazil/Sweden): Stresses imposed on the DC side switches of the ITAIPU HVDC system
13-11: *Legros, W.;* a. o. (Belgium): Investigation means for the optimising of a circuit-breaker provided with vacuum bottles
13-12: *Stephanides, H. V.;* a. o. (Switzerland): Modern methods for the reduction of the operating energy for SF_6 circuit-breakers
13-13: *Colombo, E.;* a. o. (Italy): Considerations on the dielectric characteristics of MV vacuum-circuit-breakers

EA 2347

SC 15: Isoliermaterial

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. *M. Kahle*

Schwerpunkte:

1. Verhalten von Isolierungen im Betrieb bei Multistreßalterung, insbesondere von Kunststoffisolatoren im Freilufteinsatz. Neue Methoden der Überwachung und der Prognostizierung des Langzeitverhaltens
2. Einfluß der chemischen Zusammensetzung, von Additiven und Partikelverunreinigungen auf das Verhalten und die Eigenschaften von Isolierflüssigkeiten und Mischisolierungen.
   Probleme der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von All-Film-Kondensatoren
3. Das Verhalten synthetischer Isoliergase beim Einsatz in Verbindung mit festen Isolierstoffen, speziell bei der Belastung mit schnellen transienten Spannungen

Ergebnisse: TWE E

1. Das Betriebsverhalten von Kunststoffisolatoren im Freilufteinsatz und Möglichkeiten der Lebensdauerprognose

Seit mehr als zwei Jahrzehnten sind Versuche unternommen worden, Kunststoffisolatoren, insbesondere Langstabfreileitungsisolatoren, unter Freiluftbedingungen einzusetzen. Die Grundkonstruktion, glasfaserarmierter mechanischer Kunststoffträger und aufgesetzte Duroplast- oder Elastomerschirme, wurde beibehalten. Die umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben betrafen die Konstruktion, die Werkstoffauswahl und die Verfahrenstechnik. Trotz beachtlicher Rückschläge, bis zur völligen Auswechselung der Isolatoren von Freileitungen in der Größenordnung von 100 km Länge, werden solche Isolatoren — das zeigte die Konferenz — in steigendem Maße eingesetzt. Während bisher vorwiegend das Argument der verbesserten Montagetechnologie, der Einsparung von Masse und Isolierlänge (vor allem bei hohen Spannungsebenen durch die Einteiligkeit der Isolatoren) und der Möglichkeiten der Spannungserhöhung bestehender Leitungen im Vordergrund stand, sind erstmalig in den Diskussionsbeiträgen die Vorteile des Fremdschichtverhaltens und der Zuverlässigkeit betont worden (z.B. Einsatz in den Netzen der EdF in Frankreich). Der Trend, die Vorteile der Kunststoffisolatoren stärker zu nutzen, kann als klar erwiesen angesehen werden.

Obwohl einige positive Beispiele für Schirmkonstruktionen mit cycloaliphatischem Epoxidharz gezeigt wurden, stehen offensichtlich Elastomomere, wie Silikongummi (SR) und Ethylen-Propylen-Terpolymerisate (EPDM) an der Spitze. Eine ausgezeichnete Bilanz des Einsatzes von Kunststoffisolatoren mit SR-Schirmen über etwa 20 Jahre in Stückzahlen von einigen 10000 gibt der Bericht 15-09. Es wird dabei auf die Wech-

Prof. Dr.-Ing. *Manfred Kahle* ist Leiter des Wissenschaftsbereiches der Isolier- und Hochspannungstechnik der TH Ilmenau.

selwirkung von Konstruktion, Material und Technologie verwiesen und gezeigt, daß Probleme (z.B. Einsatz von kaltvulkanisierendem Kautschuk, Sprödbruch des glasfaserverstärkten Trägerstabes durch chemisch-korrosiven Angriff, Wasserdiffusionsprobleme u.a.) durch gezielte Grundlagenforschung und technische Umsetzung der Ergebnisse überwunden werden können.

Eine Zusammenfassung von Ergebnissen des Einsatzes von Kunststoffisolatoren in Frankreich, Italien und Großbritannien bringt der Bericht 15-12. Es wird betont, daß nur Zyklustests mit praktisch allen Streßfaktoren in einer beschleunigten Alterung Aussicht auf eine genügend genaue Lebensdauerprognose haben. Auf synergistische Effekte bei der natürlichen Alterung unter Betriebsbedingungen wird hingewiesen.

Typische Fehlerstellen, die zum Ausfall führten, können nach Meinung des Berichterstatters als Musterbeispiele für Unzulänglichkeiten in Fertigung und Konstruktion angesehen werden.

Sowohl in den Berichten 15-01, 15-09, 15-12 als auch in einer Reihe von Diskussionsbeiträgen wird dem SR geeigneter Zusammensetzung und chemischer Reaktion ein besonders gutes Alterungsverhalten bescheinigt. Es ist aber ebenso deutlich, und durch einen DDR-Beitrag besonders unterstrichen, daß EPDM unter Beachtung optimal angepaßter Konstruktion und Technologie und einer geeigneten Füllstoffwahl als vorzügliches Schirmmaterial eingesetzt werden kann.

Nach wie vor ist die Kriechstrom- und Erosionsbeständigkeit des verwendeten Schirmmaterials Untersuchungsschwerpunkt. Im Bericht 15-01 werden SR und EPR Umgebungsfaktoren (UV-Strahlung, Feuchtigkeit und Temperatur) ausgesetzt und in ihrer Langzeitwirkung auf mechanische und elektrische Eigenschaften bestimmt. Zusammenhänge zwischen Freiluftversuchen und beschleunigter Laboralterung in Zyklustests werden hergestellt. Die Beschleunigungsfaktoren sind jedoch nur test- und materialspezifisch zu verwenden.

Der vom SC 15 vorgelegte Bericht 15-11 beschäftigt sich mit den Testverfahren. Es wurden durch die Mitglieder der TF 15-06-04 erarbeitete bzw. untersuchte Verfahren in ihrer Aussagefähigkeit analysiert. Gegenüber dem standardisierten IEC 587 „Inclined plan test" werden Methoden mit stärkerer Anpassung an die praktischen Alterungsbedingungen beschrieben. Alle Tests sind vorwiegend Methoden zur Materialselektion. Obwohl Beschleunigungsfaktoren teilweise abgeleitet wurden, ist deren sichere allgemeine Anwendung gegenwärtig noch nicht möglich. Der Bericht zeigt die dringende Notwendigkeit der weiteren Erforschung der Multistreßalterungsprozesse, gibt jedoch auch Hinweise für die Möglichkeiten und Grenzen der entwickelten Verfahren zur Lebensdauerprognose.

2. Einflußfaktoren auf das Verhalten von Isolierflüssigkeiten und Mischisolierungen und Analyse von Charakterisierungsmethoden

Durch die Substitution von Chlordiphenylen wurde die Forderung nach schneller und zuverlässiger Überprüfung neuer Isolierflüssigkeiten und deren Lebensdauerprognose gestellt. Ziel war, auf vorliegende umfangreiche Kenntnisse im Betriebsverhalten der klassischen Flüssigdielektrika zurückzugreifen und mit verbesserten Prüfmethoden Einflußfaktoren in ihrem Wirkungsumfang zu erfassen.

Die Notwendigkeit der Erweiterung der Kenntnisse ergibt sich auch aus neuen Auslegungs- und Konstruktionsparametern der Geräteisolierungen.

Ergebnisse zur Entwicklung von Selektionskriterien für Isolierflüssigkeiten werden im Bericht 15-10 vorgestellt.

Sowohl die Wechselspannungsfestigkeit, die Impulsfestigkeit als auch das Teilentladungs- und Gasverhalten werden untersucht. Die Impulsfestigkeit mit negativer Polarität ist wesentlich höher als die mit positiver. Erstere hängt stark von der Ölzusammensetzung ab, aromatische Anteile haben einen besonders großen absenkenden Einfluß.

Zur Diskussion steht bei der Anwendung der Spitze-Kugel-Funkenstrecke, im Hinblick auf die hohe Inhomogenität, die Frage nach der Praktikabilität z.B. für Transformatorisolierungen. Die niedrigen Werte der positiven Polarität scheinen in der Anwendung praxisnäher, zeigen aber eine geringere und andere Differenzierung als die bei negativer Polarität. Ergebnisse der TE-Einsetzspannungsuntersuchung mit einer einfachen Nadel-Kugel-Strecke werden in 15-10 ebenso vorgestellt wie die Untersuchung des Gasverhaltens mit IEC-Zellen. Wegen der gezeigten Einflußnahme von Partikeln auf die Einsetzspannung steht die Frage nach der quantitativen und qualitativen Teilchenkontrolle. Einige Vorschläge zur optischen Kontrolle und Zählung wurden in der Diskussion unterbreitet. Die Möglichkeiten des Einsatzes der Meßzellen wird als praxisrelevant eingeschätzt. Die Wirkung von Partikelverunreinigungen wird in drei Berichten untersucht. Eine japanische Arbeit (15-03) befaßt sich mit einem Modell, das die Durchschlagwahrscheinlichkeit als Weibullverteilung beschreibt, in dem die Partikelkonzentration neben dem Ölvolumen und der Belastungszeit als unabhängige Variable erscheint.

TE-Messungen werden an einem Transformatormodell mit hoher Annäherung an die wesentlichen Elemente des Leistungstransformators einschließlich der Variation der Teilchenkonzentration, der Temperatur und der Strömungsgeschwindigkeit vorgenommen, Wahrscheinlichkeitsbeziehungen abgeleitet und mit der Durchschlagverteilung verglichen.

In dem Bericht 15-08 werden Wirkungen von Abstandhaltern unterschiedlicher Geometrie zwischen Elektroden getestet.

Preßspanzwischenlagen ohne wesentliche Felderhöhung führen über Partikeleinwirkung zu einer beachtlichen Herabsetzung der Durchschlagfeldstärke.

In den Diskussionen wurden sehr instruktive Filmaufnahmen über Partikelbrückenbildungen an Isoleroberflächen bzw. in Isolierkanälen gezeigt und ihr Einfluß auf die Überschlagfestigkeit deutlich gemacht.

Zur Überprüfung des Partikeleinflusses in einem großen bewegten Volumen wird in 15-10 der Vorschlag für eine koaxiale Strömungszelle unterbreitet.

Zwei wichtige Berichte zum Stand der Beherrschung von All-Film-Kondensatoren im Hochspannungsbereich wurden eingebracht und diskutiert. Der Bericht 15-06 behandelt Erfahrungen und Erkenntnisse in Frankreich bei der Einführung der All-Film-Technik und der Substitution von Chlordiphenylen (PCB). Es wird gezeigt, daß nach der Substitution die Ausfallrate deutlich zurückgegangen ist und auch nach Einführung der papierfreien Dielektrika die Zuverlässigkeit, trotz Erhöhung der Feldstärke, weiter gestiegen ist. Die Übertragung der Erfahrungen mit Überspannungs- und Lebensdauertests, am Mischdielektrikum gewonnen, wird als eine entscheidende Forschungsleistung zur schnellen Beherrschung der neuen Technik angesehen. Die Absenkung der dielektrischen Verluste auf etwa 0,1 W/kVar hat u.a. auch die Möglichkeit zur Einführung von 200-kVar-Einheiten mit internen Sicherungen gegeben.

Von den unterschiedlichen Varianten rauher und glatter Al- bzw. PP-Folien wird die Kombination 2 × PP Kategorie 3 (Rauheit 0,2 ··· 0,6 µm) und glatte Al-Folie gewählt.

Das erlaubt nach Erfordernis der Spannung, eine Faltkantentechnik zu verwenden und damit Stehspannungen bis zu 3000 V zu erzielen und die TE-Einsetzspannung um 20 ··· 30 % zu erhöhen.

Elektrische Qualitätsprüfungen der PP-Folien werden durch Bestimmung der Durchschlagfestigkeit und der Fehlerrate im Durchlauf vorgenommen. Die verschiedenen Tränkmittel, wie PXE, MIPB, DPT zeigen ähnliches Betriebsverhalten. Wichtig ist die Quellungsuntersuchung für die PP-Folien, insbesondere in Abhängigkeit von der Temperatur, da hiervon entscheidend die Tränktechnologie und damit die Lebensdauer abhängen.

Mit guter Technologie sind Betriebsfeldstärken bis 60 V/µm möglich. Damit ist eine Volumenreduktion von 20 bis 30 % gegenüber dem Mischdielektrikum erreichbar.

Bei der analogen Lebensdauerprüfung zu den Kondensatoren mit Mischdielektrikum brachten die Untersuchungen unterschiedliche Ausfallkategorien, so daß die Frage nach einer stark beschleunigten Alterung bei erhöhter Temperatur (75 °C) weiterer Untersuchungen bedarf.

Der Bericht 15-04 geht vom gleichen Anliegen aus, stellt aber die Möglichkeiten der Herstellung von selbstheilenden All-Film-Hochspannungskondensatoren in den Vordergrund, obwohl auch in Japan noch der Kondensator mit Al-Folie dominiert. Hochspannungsnebenschlußkondensatoren mit Selbstheileffekt werden mit beidseitig metallisiertem Papier als Elektrode in Form von 100 kVar/6,6-kV-Dreiphaseneinheiten mit PCB-freier Flüssigtränkung ausgeführt.

Daneben wurden SF_6-isolierte gleichartige Einheiten mit aufgedampfter Elektrode entwickelt. Für Kopplungszwecke stehen Epoxidharztrockenkondensatoren mit Albedampfter PET-Folie zur Verfügung. Auf lebensdauerbeeinflussende technologische Bedingungen, wie Quellung, Tränkung, Verguß, wird eingegangen. Die Abhängigkeit der Stehspannung von der Flächenleitfähigkeit der Elektrode wird behandelt und als Richtwert 6 Ω/cm² angegeben.

Die Optimierung des SF_6-isolierten Kondensators geht von dem großen Einfluß des Druckes auf die TE-Einsetzspannung und der praktischen Druckunabhängigkeit der

Durchschlagspannung bei verschiedener Dicke des Dielektrikums aus. Daraus resultiert die Wahl dünner PP-Folien gegenüber einer Druckerhöhung wesentlich über Atmosphärendruck.
Interessant sind Ergebnisse über Auf- und Entladevorgänge mit gedämpften Stromschwingungen. Verglichen wird die Wirkung über die Verlustziffermessung nach wiederholten Auf- und Entladevorgängen mit steigender Stromamplitude über 100 Zyklen im Abstand von je 2 Sekunden. Erst nach Überschreiten von 70 kA Schwingungsamplitude ist ein Anstieg bei stirnseitengeschoopten selbstheilenden Kondensatoren festzustellen (Beschädigung der Kontaktierung?); das ist aber der Wert, bei dem die Typen mit Folienelektroden Brüche in den Anschlußfahnen aufweisen.
Im Langzeittest wird eine Veränderung des metallisierten Randes beobachtet. Röntgenmikroanalyse und Elektronenspektroskopie weisen Übergänge zum Al_2O_3 und metallfreie Flecken auf. Diese Erscheinung wird mit elektrochemischen und Teilentladungsvorgängen erklärt.
In den Diskussionen spielten Fragen zur Additivwirkung von Epoxiden, insbesondere bei höheren Temperaturen auf Verluste und Lebensdauer eine Rolle. Über Erfahrungen mit Isocyanatadditiven in Japan wurde berichtet und auf die Probleme der Gasbildung hingewiesen.

3. Verhalten von Gasisolierungen in Verbindung mit festen Isolierstoffen

Die Berichte 15-02, 15-05 und 15-07 beschäftigen sich mit verschiedenen Aspekten von Gas/Feststoffisolierungen, speziell unter der Belastung mit sehr kurzen Überspannungen. In SF_6-Anlagen treten bei Trennschaltungen Spannungsanstiegszeiten von wenigen ns auf. Die besonderen Überspannungsbedingungen resultieren aus der kurzen Aufbauzeit in SF_6 und aus den Reflexionsbedingungen der Wanderwellen. Die Schwingungen können einige 100 MHz betragen.
Der Bericht 15-05 untersucht die Wirkung von Schutzfunkenstrecken. Es werden Berechnungsmethoden für die Bestimmung der U_d-t-Charakteristiken von Luftstrecken für Blitzspannungen angegeben.
Experimentelle Werte für verschiedene Funkenstrecken und Elektrodenformen liegen vor.
Im Bericht 15-02 werden Koronaentladungen mit Schaltspannungen in SF_6 an inhomogenen Funkenstrecken mit Isolator untersucht. Der Einfluß des Isolators auf die Verteilung des Koronaeinsatzzeitverzugs wird diskutiert. Mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera wird die Wirkung der Oberflächenentladungen auf den Impulsüberschlag studiert.
Impulse mit 100 MV/s Anstiegsgeschwindigkeit und Schwingungsfrequenzen bis zu 100 MHz werden in koaxialen Elektrodenanordnungen mit und ohne Abstandhalter in SF_6 im Bericht 15-07 verwendet.
Es sind zwei Anordnungen im Experiment, eine ungestörte und eine mit starken Inhomogenitäten versehene. Bei letzterer kann die Durchschlagspannung weit unter der Nennstehblitzspannung liegen. Die U_d-t-Charakteristik hat eine umgekehrte Tendenz gegenüber dem ungestörten Zustand. Aus dem spezifischen Verhalten können in der Praxis aufgetretene Fehler gegen Erde bei Trennerschaltungen erklärt werden. Empfehlungen für die Vor-Ort-Prüfung als Nachweis für eine inhomogenitätenfreie Anlage werden abgeleitet. EA 2348

SC 21: Hochspannungskabel

Berichterstatter: Dr.-Ing. *Dietrich Flügge*

Schwerpunkte:

1. Zuverlässigkeit von Seekabeln
2. Konstruktion, Herstellung, Legung und Wartung von Kabeln mit synthetischen Isolierungen
3. Neue Konstruktionen bei Höchstspannungskabeln

Ergebnisse:

1. Zuverlässigkeit von Seekabeln

(Berichte 21-01; 21-02; 21-05; 21-12)

Den Arbeitsgruppen der CIGRE sind etwa 3600 km Seekabel bekannt; davon sind etwa 2200 km mit Nennspannungen über 50 kV und davon etwa 50 % Gleichspannungs- und 50 % Wechselspannungskabel.
In wachsendem Maße werden die Kabel in vorbereitete Gräben am Meeresboden gelegt, weil bisher an derartig gelegten Seekabeln keine mechanischen Beschädigungen durch Anker oder Fischerei-Schleppnetze aufgetreten sind.
Auch für die neueste große Seekabelverbindung, die 1985/86 zwischen England und Frankreich durch den Ärmelkanal errichtet wurde, trifft dies zu. Diese spektakuläre neue große internationale Kabelverbindung hat u. a. die Parameter

Betriebsspannung: ± 270 kV Gleichspannung
Übertragungsleistung: 2 × 1000 MW

Kabel:

— 8 parallele Einleiterkabel
— Ölkabel auf den Landtrassen
— Massekabel für die Seelegung

Trassenlänge:

— Landtrassen
  18 km in England
  6,5 km in Frankreich
— Seetrassen
  45 km zwischen Folkestone in England und Sangatte in Frankreich
  Nennlegetiefe im Seebett: 1,5 m.

Interessant ist die Entwicklung von Unterwasser-Fahrzeugen für die verschiedensten Zwecke der Seekabeltechnik, so für

— Aushebung des Kabelgrabens
— Reparatur und Montage von Kabeln am Meeresboden in Tiefen bis zu 65 m
— Ferngesteuerte Kontrolle und Inspektion von Kabeltrassen bis zu Tiefen von etwa 3000 m (mit Manipulatoren).

Neben den traditionellen Gleichstrom-Seekabeltrassen werden in wachsendem Maße Drehstromverbindungen errichtet. Drehstrom-Seekabel bis 500 kV Nennspannung sind entwickelt und erprobt.
Im Mittelpunkt der CIGRE-Diskussion standen u. a. folgende Probleme:

— Reparatur von Seekabeln in großen Tiefen
— Kabelgräben am Meeresboden bei verschiedenen Bodenarten und Meerestiefen
— Armierungs- und Mantel-Materialien für Seekabel
— Fehlerstatistik bei Seekabeltrassen
— Relation Reparaturkosten und Kosten für Reservekabel.

2. Konstruktion, Herstellung, Legung und Wartung von Kabeln mit synthetischen Isolierungen

(Berichte: 21-03, 21-04, 21-07, 21-08, 21-09, 21-10)

Dieser Thematik ist nach wie vor der größte Anteil der Aktivitäten gewidmet. Hochspannungsplastkabel setzen sich gegenüber Ölkabeln in wachsendem Maße durch, so daß es heute schon nicht mehr gerechtfertigt ist, Ölkabel als den konventionellen Hochspannungskabeltyp zu bezeichnen.
Zum Entwicklungsstand:

— In Japan dominieren bei 154 kV VPE-Kabel gegenüber Ölkabeln
— In der Schweiz sind 220-kV-EPR-Kabel im Einsatz
— In Frankreich sind 400-kV-LDPE-Kabel im Einsatz
— In Schweden sind 400-kV-VPE-Kabel im Einsatz.

Durch Perfektion der Herstellungstechnologien und der Materialien sind die Betriebsfeldstärken ständig erhöht worden und betragen z. B.

— 4 kV/mm bei 60-kV-Kabeln
— 10 kV/mm bei 225-kV-Kabeln
— 12,5 kV/mm bei 400-kV-Kabeln.

Einen großen Anteil am Entwicklungsfortschritt haben die Weiterentwicklungen bei den Garnituren.
Je nach Betriebsspannung und Garniturenart werden heute folgende Montagetechniken angewandt:

— Wickeltechnik
— Aufschiebetechnik vorgefertigter Garnituren
— Extrusion von Muffenisolierungen am Montageort.

Bei Endverschlüssen dominiert eindeutig die Aufschiebetechnik im Porzellanüberwurf mit Silikonöl-, Polybutenöl- oder SF_6-Gas-Ausfüllung.
Im Mittelpunkt der Diskussion standen bei diesem Themenkreis u. a. folgende Probleme:

— Thermomechanische Beanspruchungen und der Einfluß auf die elektrische Festigkeit
— Schrumpfungen und innere Spannungen in der Isolierung

Dr.-Ing. *Dietrich Flügge*, Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck".

— Vor-Ort-Prüftechnik für Kabel und Garnituren alternativ zur Gleichspannungsprüfung
— Relation Langzeitprüfung/Lebensdauer
— Ökonomie verschiedener Muffentypen
— Verhalten bei senkrechter oder sehr steiler Legung speziell bei Wellmantelkabeln
— Verbindungen zwischen Plastkabeln und Öl- oder Gasdruckkabeln
— Schirmunterbrechungen für Auskreuzsysteme.

3. Neue Konstruktionen bei Höchstspannungskabeln

(Berichte: 21-06, 21-11, 21-13)

Trotz der Fortschritte bei Plastkabeln sind die getränkten Mehrschichtisolierungen bei Kabeln noch keinesfalls entbehrlich. Die Vorteile der synthetischen Isolierungen (niedrigste Verluste bei niedriger Kapazität) und die bei getränkten Papieren beherrschbaren hohen Feldstärken sind kombiniert in getränkten Isolierungen mit laminierten (Papier-PP-Papier) Bändern. Bei einer Langzeitprüfung an 765-kV-Kabeln wurden folgende Parameter erreicht:

Betriebsfeldstärke:	23,2 kV/mm
Nenn-Blitzspannungs-Feldstärke:	108 kV/mm
Verlustfaktor:	0,0009 bei 20 °C 0,0007 bei 90 °C.

Für Ölkabel bis 420 kV ist ein flammwidriges Ölkabel-Öl erprobt worden, das auch bei Ölaustritt im Fehlerfall und bei Einwirkung von Lichtbögen keine Ausbreitung des Feuers verursacht.
Weiterhin wurde eine sehr detaillierte Studie über die Begrenzungen der maximal möglichen Kabeltrassenlängen beraten.
Die Diskussion beschäftigte sich u.a. mit folgenden Problemen:
— Technisch-ökonomische Gesichtspunkte getränkter laminierter Isolierungen
— Lebensdauer-Exponenten bei laminierten Isolierungen und Gültigkeit der Montsinger-Regel
— Kombination von PVC-Mänteln mit flammwidrigen Ölkabel-Ölen
— Stabilität langer Kabeltrassen speziell bei Kompensation kapazitiver Ladeströme.

Berichte der Gr. 21

21-00: *Schmidt, B. R.* (Schweiz): Spezialbericht für Gruppe 21
21-01: *Crabtree, I. M.; O'Brien, M. T.* (Neu Seeland): Verhalten der ± 250 kV-Gleichspannungs-Seekabel durch die Cook-Strait in der Zeit von 1964 bis 1985
21-02: *Arkell, C. A.; Ball, E. H.; Hacke, K. J. H.; Yates, J. B.; Waterhouse, N. W.* (England): Konstruktion und Installation des englischen Teils der 270-kV-Gleichstromkabel-Verbindung zwischen England und Frankreich – einschließlich der Zuverlässigkeitsaspekte
21-03: *Harasawa, K.; Tsuchida, A.; Motomura, T.; Fukagawa, H.* (Japan): Untersuchung der Anwendbarkeit von 275-kV-VPE-Kabeln für lange erdverlegte Übertragungssysteme in Japan
21-04: *Lee, S. H.; Han, K. M.; Park, W. K.* (Süd-Korea): Die Entwicklung und Installation von VPE-isolierten Hochspannungskabeln in Korea
21-05: *Arnold, R. J.; Homer, A.* (England) *Riot, B.* (Frankreich): Eine Einrichtung zur Reparatur des Kanalkreuzungskabels auf dem Meeresgrund
21-06: *Allem, E. M.; Cooper, J. H.; Shimshock, J. F.* (USA): Entwicklung und Langzeitprüfung eines 765-kV-Hochdruckrohrkabels mit niedrigen Verlusten
21-07: *Aalst, van, R. J.; Laar, van de, A. M. F. J.; Leufkens, P. P.* (Niederlande): Thermomechanische Beanspruchungen in Hochspannungskabeln mit extrudierten Isolierungen
21-08: *Dam-Andersen, M.; Jergensen, J.; Kjaer Nielsen, O.; Poulsen, S. H.* (Dänemark): Konstruktion, Fertigung und Installation von VPE-Kabeln in Dänemark
21-09: *Jocteur, R.; Favrie, E.; Auclair, H.; Dhuicq, B.* (Frankreich): Entwicklung von 400-kV-Kabeln mit einer Isolierung aus PE niedriger Dichte
21-09: *Jocteur R.; Favrié, E.; Auclair, H.; Dhuicq, B.* (Frankreich): Entwicklung von 400-kV-Kabeln mit einer Isolierung aus PE niedriger Dichte
21-10: *Aguest, M.; Besson, J.; Bezancon, D.; Buchillier, G.; Dijamatovic, Y.; Fromentin, M.; Genier, M.; Lanovici, M.; Moser, W.; Müller, P.; Sauvain, H.; Seitz, P.* (Schweiz): Betriebsverhalten und vorbeugende Wartung/Reparatur von Hochspannungskabeln
21-11: *Lanfranconi, G. M.; Vecellio, B.* (Italien): Flammwidrige Ölkabel
21-12: WG 21.06-Bericht: Methoden zur Verhinderung mechanischer Beschädigungen von Seekabeln
21-13: *Arrighi, R.* Im Namen von WG 21.13: Parameter des Betriebsverhaltens langer Übertragungstrassen von Hochspannungs-Wechselspannungskabeln

EA 2349

Zur CIGRE 1986

hat das Institut für Energieversorgung in Dresden das Sonderheft 13/86 herausgegeben. In diesem Heft sind alle CIGRE-Beiträge referiert.

Bei Rückfragen und/oder Bestellungen wenden Sie sich bitte direkt an das Institut in Dresden:

Institut für Energieversorgung
Informationsdienst für Wissenschaft und Technik
Zeunerstr. 83a
Dresden
8027

Die Redaktion

SC 22: Freileitungen

Berichterstatter: Dr.-Ing. *H. Streubel*

Schwerpunkte:

1. Entwurf und Bau von Mastfundamenten für Freileitungen
2. Erfahrungen beim Betrieb von Freileitungen und ihren Komponenten

Ergebnisse:

1. Mastfundamente

Zu diesem Thema wurden 6 Berichte eingereicht, die sich mit der Anwendung von Wahrscheinlichkeitsverfahren auf die Berechnung der Fundamente beschäftigten. Im Bericht 22-10 werden Untersuchungen zur Entwicklung mathematischer Modelle angegeben. Die Differentialbewegung der Fundamente wird als wesentlicher Faktor für den Konstruktionsfortschritt angesehen. Fundamentbewegungen bis etwa 20 mm bzw. 1% der Fundamentabmessungen in belasteter und etwa 3 mm in unbelasteter Richtung werden als zulässig angesehen und der Berechnung zugrunde gelegt.
Die dynamische Festigkeit der Fundamente wurde zu etwa 60% der statischen ermittelt. Durchgeführte Versuche an Modellfundamenten im Maßstab 1:1 haben bis zu 50% Abweichungen der Messung von der Berechnung ergeben.
Ökonomische Vergleiche der unterschiedlichen Fundamentarten bei verschiedenen Bodenverhältnissen ergaben:
Pilzfundamente sind vorteilhaft (bei Belastungen bis 1200 kN) bei stabilen Bodenverhältnissen ohne Grundwasser einsetzbar; Blockfundamente bis 3000 kN für Böden mit und ohne Grundwasser. Pfeilfundamente sind bei Belastungen bis 3500 kN für schwierige Bodenverhältnisse mit Grundwasser und Floßfundamente für Belastungen über 3000 kN für alle Böden gut geeignet.

X TWEE

2. Betrieb von Freileitungen

— Isolatorenalterung

Bei 15 bis 20 Jahre alten Porzellankappenisolatoren wurden durch Ausmessung jedes Isolators am Mast mit einem speziellen Gerät in Einhandbedienung, welches mit 15 MHz bei 1 kV arbeitet, Ausfälle von etwa 1% der Isolatoren infolge Durchschlages gemessen.
Glaskappenisolatoren, die bereits ihre Schirme abgeworfen haben, explodieren nach sowjetischen Untersuchungen bei Kurzschlußströmen oberhalb 5 kA mit steigender Wahrscheinlichkeit (Bild 1). Auch geht die Festigkeit gegenüber Fremdschichtbelastung erheblich zurück, wie die Messungen an einer 22gliedrigen Kette bei Salznebel zeigen (Bild 2).
Allgemein wird bei Porzellanisolatoren davon ausgegangen, daß Cristobalit-Porzellan

Dr.-Ing. *Harri Streubel* ist Hauptabteilungsleiter Elektrokeramik im Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf.

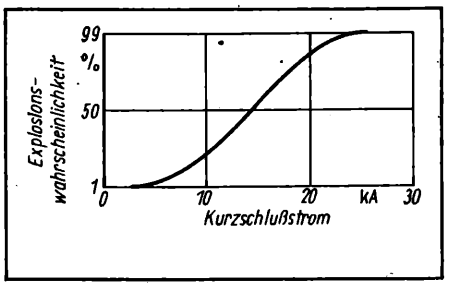


Bild 1. Explosionswahrscheinlichkeit von Glaskappenisolatoren

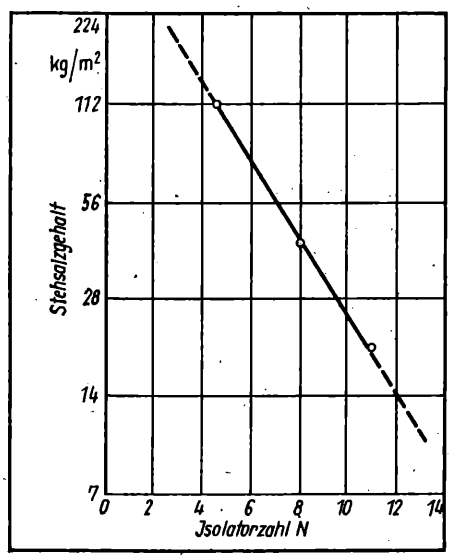


Bild 2. Verringerung des Stehsalzgehaltes einer 22gliedrigen Glaskappenisolatorenkette abhängig von der Anzahl defekter Isolatoren *N*

am stärksten zur Alterung neigt, gefolgt von Quarzporzellan. Die geringste Alterung wird bei Tonerdeporzellan verzeichnet.

— Masten und Leiterseile

Nach 15 Jahren Betriebszeit wurden an verzinkten Stahlmasten an Stellen, wo zwei Teile aufeinandertreffen, bei einem Zusammenpreßdruck(durch Niete oder Schrauben) von 4,2 kg/m² 200 um Erosionsschicht in 3 Jahren gemessen. Diese kann auf 2 µm bei Drücken von 35 ··· 40 kg/m² reduziert werden.

Zink wird im allgemeinen etwa 10µm/Jahr abgetragen.

Bei Leiterseilen und Klemmen wird die Alterung vorwiegend durch Infrarotmessung, die vom Hubschrauber aus vorgenommen wird, bestimmt. Temperaturen von über 120 °C werden als Gefahrenschwelle angesehen. Damit wurde z.B. festgestellt, daß bei St/Al-Seilen nach 15 Jahren die Stahlseele durch Korrosion beschädigt wurde. Auch Direktmessungen der Leiterseiltemperatur sind üblich.

— Kurzwellige Leiterseilschwingungen

Je mehr Teilleiter ein Bündelleiter aufweist, desto stärker neigt er zu Schwingungen. Während bei Einfachseilen Windgeschwindigkeiten von 1 bis 6 m/s kritisch sind, wurden bei Bündelleitern 4 bis 12 m/s ermittelt. Unterschiedlicher Durchhang hat dabei keinen Einfluß auf die Verringerung der Schwingungen. Abhilfe schaffen Abstandshalter mit Gummieinlagen (insbesondere bei 2-Seil-Bündelleitern) und teilweises oder vollständiges Entfernen der Abstandshalter. Daneben werden weiterhin Dämpfer empfohlen (Stockbridge-Dämpfer).

— Langwellige Leiterseilschwingungen (Leiterseiltanzen)

Diese bei mit Eis überzogenen oder bei bestimmten Bedingungen, denen die Leitungsabschnitte unterliegen, auftretenden Schwingungen sind in ihrer Ursache noch nicht vollständig geklärt, obwohl teilweise bis zu 40 % der Freileitungsstörungen durch Tanzen verursacht werden, wie Verschleiß und Bruch von Traversen und Isolatoren, Kleinteile und sogar Mastteile. Pendulum (Torsionsschwingungsdämpfer) oder Ringabstandshalter werden vorgeschlagen. Die Ergebnisse sind nach 10 Jahren Beobachtungszeit jedoch noch nicht zufriedenstellend. Starre Phasenabstandshalter (Separatoren) auf der Basis von Keramikisolatoren (nur geringfügige eigene Durchbiegung), wie sie als Lösung der DDR in einem vorgelegten Bericht und in einem Diskussionsbeitrag vorgestellt wurden, scheinen derzeit die beste Methode zur Unterdrückung langwelliger Leiterseilschwingungen zu sein.

EA 2350

SC 23: Umspannwerke

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. *O. Müller*
Dr.-Ing. *J. Schwarz*

Schwerpunkte:

1. Hilfsenergiesysteme in Umspannwerken und Kraftwerken
2. Neue Trends in der Anlagengestaltung Einführung von CAD-Lösungen — Möglichkeiten und Grenzen
3. Kostenoptimierung bei Umspannwerken durch Vereinfachung des Anlagenkonzepts, Größenreduzierung bei SF_6-GIS, Prüfmethoden und Einsatz von Mitteln der Technischen Diagnostik

Ergebnisse:

1. Hilfsenergiesysteme

(Berichte: 23-01, 23-02, 23-07 und 23-10)

Mit dem Einsatz der neuen Technologie für alle Schutz-, Steuer- und Überwachungseinrichtungen werden die Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Hilfsenergiesysteme beträchtlich erhöht. Diese Anforderungen erstrecken sich auf Software und Hardware gleichermaßen. Breiten Raum nahmen dabei die Prüfprozesse ein, da die Prüfpraxis der konventionellen Sekundärtechnik vor Ort nicht übernehmbar ist. Obwohl der Trend zu weitgehend fabrikgeprüften Baueinheiten im Softwarebereich geht, bestand Einigkeit darüber, daß komplexe Prüfungen vor Ort zum Nachweis der Funktionstüchtigkeit von Software und Hardware unumgänglich werden. Es wäre notwendig, für die Grenzen des Prüfumfanges vor Ort internationale Vereinbarungen zu schaffen. In gleicher Weise wird für wünschenswert erachtet, wenn über Art und Umfang der „Selbstprüfung" bzw. „Selbstüberwachung" der Softwareeinrichtungen internationale Richtlinien erarbeitet würden.

Mit der Festlegung dieser Grenzen werden zugleich die Anforderungen an das Betriebspersonal fixiert.

2. Neue Anlagengestaltung

(Berichte: 23-04, 23-05, 23-09, 23-11, 23-13)

Die Einführung der computergestützten Gestaltung und Dimensionierung kompletter Umspannwerke (CAD) erlaubt alle wesentlichen Funktions- und Bemessungsgrößen eines UW weitgehend zu optimieren. In diese Abstimmung können von der Grundschaltung der Primärkreise bis hin zu den Hilfsenergiesystemen auch die stark verzweigten Steuer-, Überwachungs- und Schutzkreise einbezogen werden. Die CAD-Technologie erlaubt aber auch technische Probleme, wie die Isolationskoordination eines UW unter Beachtung der anspringenden Freileitungen zu lösen. Im Bericht 23-09 wird sehr überzeugend die Leistungsfähigkeit derartiger Rechenprogramme demonstriert. Im Bild 1 ist die Spannungsverteilung am letzten Mast vor einem UW gezeigt, wenn der Erdungswiderstand des Mastes 10 Ω beträgt.

3. Kostenoptimierung in Umspannwerken

(Berichte: 23-03, 23-06, 23-08, 23-12)

Die Diskussion konzentrierte sich hauptsächlich auf SF_6-GIS und konventionelle Innenraumschaltanlagen. Langjährige Betriebserfahrungen, verbunden mit dem Einsatz neuer Materialien bzw. der höheren

Prof. Dr.-Ing. *Ottmar Müller* ist Präsident des Nationalkomitees CIGRE der DDR und ordentlicher Professor an der Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung. Dr.-Ing. *Jochen Schwarz* ist Entwicklungsleiter für Schaltgeräte im VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin.

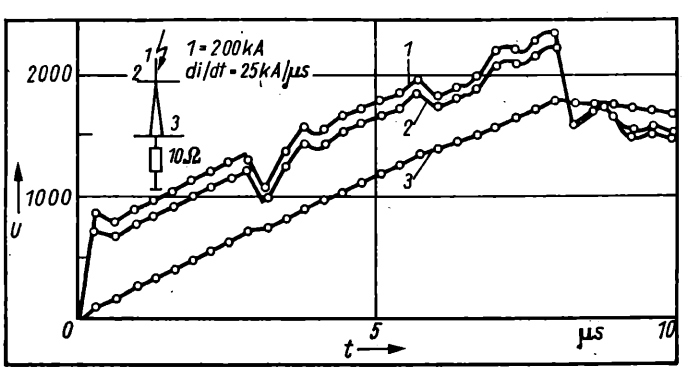


Bild 1
Die Überspannung am letzten Freileitungsmast nach Blitzeinschlag von 200 kA mit 25 kA/µs (Erdungswiderstand 10 Ω)

Auslastung üblicher Materialien sowie verbesserten Technologien bei der Entwicklung (CAD), Herstellung und Vor-Ort-Prüfung von SF_6-GIS unter beginnender Einbeziehung von Diagnostikmitteln zur Überwachung des Betriebszustandes führten zu einem breiten Meinungsaustausch zur Problematik der Kostenoptimierung.

So gelang es einzelnen Herstellern (23-06), das Volumen von SF_6-GIS-Schaltfeldern um etwa 50 % zu reduzieren. Der immer größeren Kompaktheit sind jedoch technische Grenzen gesetzt, die sich aus notwendigen Luftstrecken beim Anschluß von Transformatoren und Freileitungen sowie der ebenfalls kostenbestimmenden Zugänglichkeit der SF_6-GIS für Prüf-, Wartungs- und Instandhaltungsprozesse ergeben. Der Baukastenaufbau von SF_6-GIS erlaubt hier jedoch kundengerechte Lösungen in jedem Fall.

Die erneut in die Diskussion eingebrachte Möglichkeit, infolge des Einsatzes von Metalloxidableitern die Nennstehblitzspannungen beträchtlich herabzusetzen und damit Elektrodenabstände, Gefäßabmessungen und Kosten von SF_6-GIS zu reduzieren, fand nach wie vor bei Herstellern und Betreibern kaum Resonanz.

Da die Kosten von SF_6-GIS auch durch den Transport zum Anwender beeinflußt werden, nahmen verschiedene Hersteller umfangreiche Transportprüfungen unter Einsatz moderner Schwingungsmeßtechnik vor, um optimale Größe der Transporteinheiten (komplette Schaltfelder) und die TUL-Technologie festzulegen. Diese Untersuchungen tragen der Tatsache Rechnung, daß offenbar bis zu 30 % aller Fehler bei GIS durch Transport, Lagerung und Vor-Ort-Montage beeinflußt werden können. Je größer die Transporteinheiten sind, um so geringer sind die Kosten für die Vor-Ort-Montage und Vor-Ort-Prüfung.

Die im Bericht 23-12 vorgestellten Innenraum-Kompaktanlagen für Hoch- und Mittelspannung stellen auf Grund der Komplettmontage und Prüfung beim Hersteller eine mindestens ebenso kostengünstige Lösung dar wie SF_6-GIS.

Die Anwendung von Mitteln der Technischen Diagnostik für die Vor-Ort-Prüfung bzw. kontinuierliche und diskontinuierliche Betriebsüberwachung von Schaltgeräten und Schaltanlagen wird zunehmend im Zusammenhang mit der Kostenoptimierung betrachtet. Die Zusammenfassung aller bisher eingesetzten und konzipierten Verfahren (Bericht 23-03) und die stark unterschiedlichen Einsatzerfahrungen lassen es notwendig erscheinen, zunächst die Position von Hersteller und Betreiber zu Diagnostikmethoden und deren kontinuierlicher bzw. periodischer Anwendung abzugleichen, um für die Diagnostikeinrichtungen eine ausreichend hohe Betriebszuverlässigkeit zu erreichen. EA 2351

SC 33: Überspannungen und Isolationskoordination

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *W. Mosch*

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Wolfgang Mosch*, Technische Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik.

Schwerpunkt in den Beiträgen und Diskussionen (85 Diskussionsbeiträge!) bilden nach wie vor die *inneren Überspannungen* in A. C.- und D. C.-Systemen, verbunden mit dem Einsatz moderner Metall-Oxid-Überspannungsableiter (MOA).

Auf der Grundlage der eingereichten 14 Berichte wurden zur Generalversammlung 1986 drei Schwerpunkte diskutiert.

Ergebnisse:

1. Auswahl und Anwendung von MOA für A.C.- und D.C.-Systeme

(Beiträge 33-01, 33-08, 33-10, 33-11, 33-12, 33-13, 33-14)

Bild 1. Beispiel für zeitweilige Spannungsüberhöhungen in einem leistungsschwachen System [Bericht 33-13]

Ort des Fehlers	Ort der Spannung		p. u.	t [s]	λ [1/a]
I	$U_1 = U_2 = U_3$	U_1	1,1	10	2
		U_2	1,3	0,4	0,16
		U_3	1,1	10	1,94
		U_3	1,9	0,4	0,16
II	$U_1 = U_2 = U_3$	U_3	1,2	0,1	0,1
		U_1	1,1	10	0,1
		U_2	1,3	10	0,1
		U_3	1,1	∞	0,1
III	$U_1 = U_2 = U_3$		1,2	10	0,3

Diese Thematik hatte sowohl von der Anzahl der eingereichten Beiträge als auch der Diskussionen (50 % von insgesamt 86) den größten Umfang und wurde gemeinsam mit dem SC 14 „Gleichstromverbindungen" behandelt.

Großes Interesse fanden die Erfahrungen, die man mit MOAs in Kanada und Frankreich (nunmehr seit 1975) gesammelt hatte. Allgemein kommt man zu dem Schluß, daß die MOAs sowohl hinsichtlich der ständig anliegenden betriebsfrequenten Spannungen (Limit 1,45 p.u.) als auch hinsichtlich der zeitweiligen Spannungsüberhöhungen (TO) ausgelegt sein sollten. Durch umfangreiche Netzberechnungen wird nun versucht, Limits für die Ableiter festzulegen, wobei sehr unterschiedliche Werte vorgestellt wurden. Als Beispiel für TO zeigt Bild 1 ein leistungsschwaches Netz (500 kV), wobei auf der Leitung eine Fehlerfrequenz von 2 Fehlern pro Leitung und Jahr und in den Sammelschienen von 0,1 Fehler pro Jahr vorgegeben wurden. Die höchste Belastung erfährt ein Ableiter an der Leitung mit 1,9 p.u., 0,4 s, 0,16 mal je Jahr. Sammelschienen- und Transformator-Ableiter werden mit 1,2 p.u., $<$ 10 s, 0,3 mal je Jahr belastet. Hinsichtlich der Belastung durch Schaltüberspannungen (SO) und Blitzüberspannungen (LO) kommt es vor allem auf

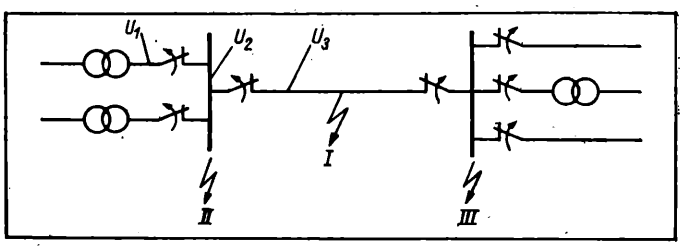
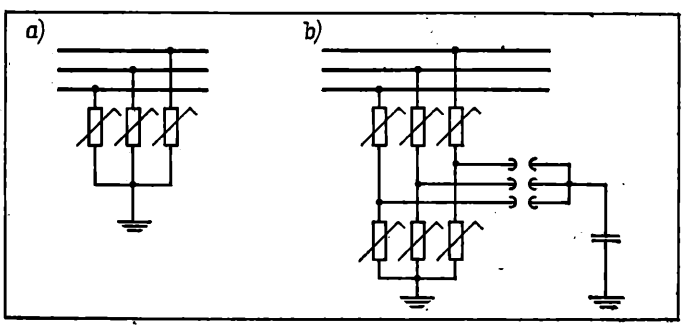


Bild 2
Vorschlag für ein MOA-System 500 kV A. C. [UdSSR]
a) alte Ausführung
b) neue Ausführung



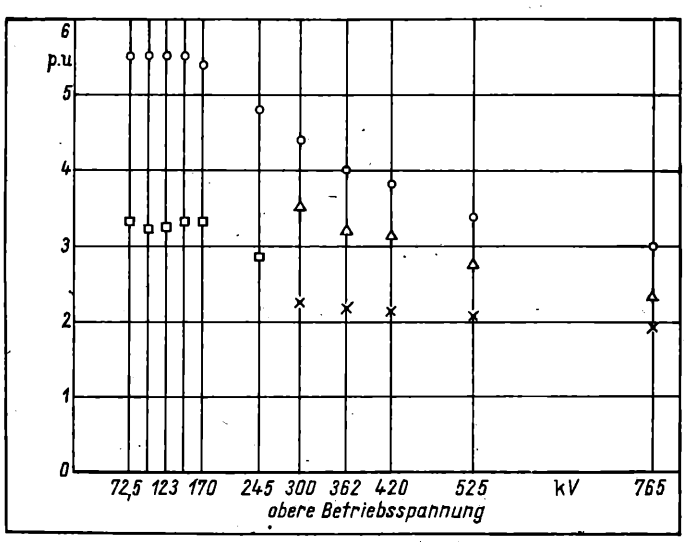


Bild 3
Nennsteh- und Prüfspannungen für GIS verschiedener Betriebsspannung [33-06]
o Nennstehblitzspannung
△ Nennstehschaltspannung
□ Nennstehwechselspannung
× Prüfwechselspannung

das notwendige Energieaufnahmevermögen an (bei SO in AC-Systemen z. B. 4 ··· 10 kJ/kV Betriebsspannung, bei LO vor allem durch Mehrfachblitzentladungen und bei < 420 kV durch rückwärtige Überschläge). Für DC-Ableiter wurden 10 ··· 15 kJ/kV bis 70 ··· 80 kJ/kV, im Sternpunkt der Transformatoren sogar bis 300 kJ/kV angegeben.

Großen Raum nahmen die Forderungen an die Strom-Spannungs-Charakteristiken ein und die Parameter, die diese beeinflussen und verändern. Hier spielt vor allem die Verschmutzung eine Rolle, wodurch die Spannungsverteilung und die Temperatur verändert wird. Dadurch kann es auch zu thermischen Unstabilitäten kommen. Weiterer Schwerpunkt war die Alterung des Ableitermaterials, die in ihrem physikalisch-chemischen Mechanismus noch weitgehend unbekannt ist. Man versucht, die Lebensdauer mit der bekannten Arrhenius-Beziehung zu beschreiben.

Sehr kompliziert gestaltet sich die Meß- und Prüftechnik bei Verschmutzung und bei fast transients (FT). Hinsichtlich des Verhaltens der MOAs gegenüber FT kann man noch keine Aussage treffen. Das Verhalten im ns-Bereich ist nur an Bauteilen erfaßbar, was aber keine Aussagen zum Verhalten des gesamten Ableiters gestattet.

Hinsichtlicht der Betriebsüberwachung (Diagnostik) von MOAs gab es nur erste Ansätze.

Interessant war schließlich noch ein Vorschlag der UdSSR für ein Ableitersystem in einem 500-kV-A.C.-Netz (Bild 2). Damit gelingt die Begrenzung von kurzzeitigen Leiter-Erde-Überspannungen (über die Funkenstrecken und den Kondensator)/als auch von Leiter-Leiter-Überspannungen, die damit von 3,6 p.u. auf 3,0 p.u. abgebaut werden konnten.

2. Isolierungen für D.C.-Freileitungen und -Stationen (Anforderungen und Ausführung)

(Beiträge 33-02, 33-03, 33-05)

Hinsichtlich des Überschlages verschmutzter Isolatoren bei D.C. gab es keine grundsätzlich neuen Erkenntnisse. Es wird weiter versucht, den Überschlagprozeß besser zu verstehen. Hauptsächlich wurden Meßergebnisse an verschiedenen Typen von Kappenisolatoren vorgestellt. Grundsätzlich wurde erkannt, daß die Akkumulation des Schmutzes bei D.C. intensiver ist als bei A.C. (1;5 ··· 2,5mal). Nach wie vor gibt es Schwierigkeiten mit den Prüfanlagen für Tests im Laboratorium (10% Spannungszusammenbruch führt zu 10% Meßfehler bei der Überschlagspannung). Die Überschlagspannung ist bei einem Fremdschichtstrom von 200 mA etwa dreimal größer gegenüber bei 1 A. Es werden Versuche bei natürlich verschmutzten Isolatoren gefordert, da die Übertragbarkeit bei verschiedenen Verschmutzungsarten im Laboratorium nicht gesichert erscheint.

3. Vor-Ort-Prüfung von Isolierungen in A.C.- und D.C.-Systemen

(Beiträge: 33-04, 33-06, 33-07, 33-09)

Erfahrungen bei der Inbetriebnahme und der Überwachung von Stationen hoher Nennspannung (765-kV-GIS USA, 750-kV-Freiluft VR Polen) wurden nicht diskutiert. Hier erfolgten Prüfungen mit der systemeigenen Spannung und bei Schalthandlungen. Das Verhalten der Isolierungen wurde bei den dadurch auftretenden Schaltüberspannungen analysiert. Breiten Raum nahmen die Diskussionen über die Vor-Ort-Prüfung von GIS ein. Einstimmig werden elektrische Prüfungen nach Transport und Montage gefordert. Es gab noch immer keine vollständige Übereinstimmung hinsichtlich der Fehlererkennbarkeit bei den verschiedenen Spannungsarten und der Höhe der Prüfspannungen. Allgemein wird anerkannt, daß oszillierende und aperiodische Blitz- bzw. Schaltspannungen gleichwertig zu betrachten sind (OSI ≙ SI; OLI ≙ LI). Auf eine Prüfung mit OLI bzw. LI bei Stirnzeiten < 20 µs sollte auf keinen Fall verzichtet werden, da nur mit diesen Spannungsarten (außer Wechselspannung mit Teilentladungsmessung) Fehler auf den Elektroden bzw. Abstandshaltern erkennbar sind. Den derzeitigen Stand der Erkenntnisse gibt wohl Bild 3 am besten wieder. Weitgehend offen ist das Problem der Prüfung von GIS mit fast transients. Sie müssen in der GIS selbst erzeugt werden (Blitzspannung bzw. Schalthandlungen mit Wanderwellen). Zur Registrierung wurde eine Feldmeßsonde vorgeschlagen, die durch die Messung des elektrischen Feldes (auch außerhalb der Kapselung) bei einer Bandbreite des Meßsystems (über Optokoppler) bis zu 20 MHz (in der Diskussion wurde von 100 MHz gesprochen) recht gut geeignet erscheint. Zur Kalibrierung wurden Vorschläge unterbreitet.

Zur 32. Session 1988 werden im SC 33 Beiträge erwartet zu:

1. Blitzbeanspruchungen in elektrischen Netzen
2. Verschmutzung von Isolierungen in A.C.- und D.C.-Systemen
3. Fast transients.

EA 2358

SC 34: Schutztechnik

Berichterstatter: Prof. Dr. sc. techn. *K. Rothe*

Schwerpunkte:

1. Errichtung, Betriebsweise und Wartung von Schutzsystemen einschließlich der Rolle des Spezialistentrainings unter den Aspekten der Netzentwicklung, des Lastanstieges und der technischen Weiterentwicklung der Ausrüstungen
2. Digitaler Schutz als Bestandteil eines komplexen Steuerungssystems der Kraft- und Umspannwerke mit den Aspekten
   - Hierarchie der Funktionen und Gerätetechnik
   - Datenverteilung, Datenfluß und Datenübertragung
   - Einsatz neuartiger Betriebsmittel wie elektronischer Stromwandler und Lichtleiter
   - Integration des Schutzes in das gesamte Steuerungssystem des Netzes

Ergebnisse:

1. Training auf dem Gebiet der Schutztechnik

Mit dem Übergang zur Digitaltechnik ziehen im Steuerteil des Elektroenergiesystems nicht nur neuartige Gerätesysteme ein, sondern es eröffnet sich auch ein wesentlich erweitertes Funktionsspektrum: Aufgaben des Schutzes und der Steuerung, gepaart mit automatischer Überwachung und Prüfung der Gerätetechnik. Daher wird es als notwendig erachtet, sowohl Projektanten als auch Betriebsingenieure auf einem Gebiet zu qualifizieren, das sowohl das Elektroenergiesystem mit seinen Betriebs- und Fehlervorgängen im stationären und transienten Zustand, die Schutzsysteme einschließlich der Wandler umfaßt als auch die Verfahren und Geräte der Informations- und Computertechnik (Berichte 34-04, 34-13).

2. Digitaler Schutz

Seit mehr als 10 Jahren findet die Digitaltechnik Anwendung in Steuersystemen von Kraft- und Umspannwerken. Ihre Vorteile haben überzeugt und werden in den verschiedenen Berichten (34-01, 34-04, 34-05, 34-08, 34-12) hervorgehoben:

- Verbesserung der Funktion
- Erhöhte Betriebszuverlässigkeit durch Einsatz von universell angewendeten Bausteinen, Nutzung der Redundanz, effektivere Selbstüberwachung
- Reduzierung der Gesamtkosten als direkt zurechenbare Kosten (Geräte, Montage) und indirekte Kosten (Betriebs-, Reparaturaufwand).

Die allgemeine Architektur ist gekennzeichnet durch drei Funktionsebenen:

- Elementarebene 0: Dialogverbindung mit den energetischen Betriebsmitteln z.B. Leistungsschalter, Wandler) einschließlich der in sie integrierten elektronischen Geräte
- Ebene 1: Informationsverarbeitung mit Bezug auf ein einzelnes Betriebsmittel (z.B. Schutz einer Leitung, eines Transformators, eines Sammelschienenabschnittes)
- Ebene 2: Informationsverarbeitung mit Bezug auf verschiedene Objekte der Ebene 1 (Ereignisregistrierung, Verriegelungssysteme, zentrale UW-Steuerung).

Durch die Verwendung eines lokalen Rechnernetzes für den Datenaustausch zwischen den Funktionseinheiten der Ebene 1 untereinander und zwischen den Ebenen 1 und 2 wird eine höhere Zuverlässigkeit erreicht als bei den traditionellen Architekturen (Bericht 34-01). Zur Datenübertragung werden grundsätzlich Lichtwellenleiter verwendet.

Über Betriebserfahrungen mit einem Stromdifferentialschutz für eine 400-kV-Dreibeinleitung von 21 km Länge wird aus Großbritannien berichtet (34-02). Die Datenübertragung erfolgt über Lichtwellenleiter (50/125 µm-Multimode-Fasern), die im Kern des Erdseils der Freileitung mitgeführt werden. Die bei Netzversuchen ermittelten Kommandozeiten lagen zwischen 31 und 43 ms (6 Leitungsfehler im Schutzbereich).

Prof. Dr. sc. techn. *Klaus Rothe*, Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung

Bei äußeren Kurzschlüssen (Ströme bis zu 9,4 kA) war die Stabilisierung voll wirksam.

Die in Japan in verhältnismäßig großer Anzahl eingesetzten digitalen Schutzsysteme als Bestandteil der mikrorechnergestützten Automatisierungsanlagen der Umspannwerke gestattete eine erste Bewertung der Betriebszuverlässigkeit des Digitalschutzes (Bericht 34-05). Mit Bezug auf eine Grundgesamtheit von 145 Digitalrelais (95 Distanzrelais, 35 Leitungs-Differentialrelais, 12 Leistungsrichtungs-Vergleichsrelais, 2 Transformator-Differentialrelais, 1 Sammelschienenschutz) wurde ein Betriebszeitraum ausgewertet, der 250 Gerätejahre repräsentiert.

Die Fehlerraten betrugen für die Hardware $4{,}5 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ und für die Software $3{,}6 \cdot 10^{-6} h^{-1}$. Es wird eingeschätzt, daß dieses Zuverlässigkeitsniveau, das dem der konventionellen analogen Schutzrelais vergleichbarer Funktionen entspricht, mit der Einführung der automatischen Überwachungssysteme möglich wurde.

Berichte der Gr. 34

34-01: *Bornard, P.;* u. a. (Frankreich):
Architecture of the digital control and protection system for EHV substations

34-02: *Kwong, W. S.;* u. a. (Großbritannien):
A Microprocessor-based current differential relay for USA with digital communication systems its design and field experience

34-02a: *Kwong, W. S.;* u. a. (Großbritannien):
A Microprocessor-based current differential relay for USA with digital communication systems its performance during systems tests

34-03: *Lisser, J.; van de Water, A. J.* (Niederlande):
Zero-flux current transformer for wide-band precision measurement in AC and DC HV systems

34-04: *Santa Clara, A.;* u. a. (Brasilien):
An analysis of the implementation of digital techniques in Brazilian generation and transmission stations

34-05: *Ando, T.;* u. a. (Japan):
Present state and experience of digital protection

34-06: *Bauer, H.;* u. a. (DDR):
Experience with a modern process control technique on high voltage substations in the GDR

34-07: *Gustafsson, A.;* u. a. (Schweden):
Aspects of protection and control structures based on basic requirements

34-08: *Nilsson, S. L.;* u. a. (USA):
A new digital control and protection system for transmission substations

34-09: *Phadke, A. G.;* u. a. (USA):
Improved protection and control of power systems with digital computers

34-10: *Dopjera, J.;* u. a. (ČSSR):
Microprocessor-based distributed system for organized and automatic data acquisition and data processing of the analog quantities with their nominal frequency 50 Hz and for binary signals and the utilisation of such system in Nuclear Power Plants (NPP)

34-11: *Kezunovic, A.;* u. a. (Jugoslawien):
Application of digital computer technology to the implementation and testing of an integrated substation protection and control system

34-12: *Mainka, M.;* u. a. (BRD):
Design aspects of a fully mikrocomputer-based feeder protection system for HV lines

34-13: *Hahn, Ch.; Narayan, V.* (Schweiz):
Methods of training of planning and operational staff in the field of protection systems

EA 2352

SC 37: Planung und Entwicklung von Energiesystemen

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. *H. Pundt*

Die Grundtendenz für die Planung und Entwicklung von Energiesystemen ist weltweit gekennzeichnet durch Kürzung der finanziellen Mittel und die Ungewißheit, ob sich die erforderlichen Investitionen lohnen. Dabei wird der Elektroenergie als universellste Gebrauchsenergie die größte Bedeutung weiterhin prognostiziert. Die drei Vorzugsthemen konzentrierten sich auf diese Probleme.

Ergebnisse:

1. Der Platz der Elektroenergie

Es wurde festgestellt, daß die Entwicklung von Elektroenergiesystemen nur eingeschätzt und geplant werden kann, wenn die Elektroenergie im Zusammenhang mit den gesamten Energieprodukten auf dem Weltmarkt gesehen wird. Übereinstimmend wird das zunehmende Eindringen der Elektroenergie infolge der Vorteile im Haushalt und als bevorzugter Träger für praktisch alle stationären Produktionsprozesse festgestellt. Es wird deshalb eingeschätzt, daß der Endverbrauch an Elektroenergie asymptotisch einen Anteil von 80% annehmen könnte. Bezüglich neuer Energiequellen zeigt die Geschichte, daß es einschließlich Entwicklung und Erprobung oftmals mehr als 30 Jahre dauerte, bis die neue Energiequelle einen Anteil von 1% erreichte. Obwohl die Anreize zur Nutzbarmachung neuer Primärenergiequellen, wie Wind, Sonne, Gezeiten und Geotherme, nicht nur ökonomischer, sondern auch sozialer Art sind, hängt die Nutzbarmachung im wesentlichen von technologischen Verbesserungen und Kostenreduzierungen ab. Der spezifische Grundflächenbedarf beträgt dabei bis zum 1000fachen und der spezifische Materialbedarf ohne Gebäude und Gründungen das 10- bis 100fache (Bild 1). Zusammenfassend wurde deshalb auch festgestellt, daß die sog. alternativen Energien infolge ihrer hohen Kosten in der nächsten Zukunft nur auf einzelne spezielle Einsatzgebiete begrenzt bleiben.

2. Planung unter den Bedingungen der Ungewißheit

Während früher Bedarfsvorhersagen häufig auf einfachen Korrelationen des Elektroenergieverbrauches mit der Zeit oder einfach auf dem Niveau ökonomischer Aktivitäten basierten, die sich als richtig bzw. ausreichend für den Zweck der Lieferung ausreichender Daten erwiesen, sehen sich die Planer in vielen Ländern seit einigen Jahren einem hohen Grad der Unsicherheit hinsichtlich ihrer Voraussagen für die Zukunft gegenüber. Das Erkennen der Faktoren, die mit diesen Ungewißheiten zu tun haben, die Entwicklung von Methoden, die mit deren Quantitätsbestimmung zu tun haben bzw. wie diese am besten in den Planungsvorgang einzubeziehen sind, die Konsequenzen von Planungsentscheidungen, die diese Ungewißheiten auf verschiedene Art und Weise zum Ausdruck bringen, die Maßnahmen, die ergriffen werden, um diese Konsequenzen abzuschwächen, sind Probleme, die in diesem Vorzugsthema behandelt wurden. Daß die Belastungsvorhersage immer wieder große Differenzen aufweist, demonstriert z. B. Bericht 37-06 der USA, der für den Zeitraum von 1978—84 die Abweichung des tatsächlichen Energiebedarfes pro Jahr im Vergleich zur Einschätzung von vor fünf Jahren zu etwa 25% ausweist (Bild 2). Damit steigt auch die Ungewißheit für den Ausbau der Kraftwerke und des Übertragungsnetzes. Wie mit einem neuen Planungsmodell, das Ungewißheiten berücksichtigt, eine optimale Lösung für die Ausbauplanung des 380/220-kV-Netzes gefunden werden kann, wurde in einem Diskussionsbeitrag der IHZ (Prof. *Muschick*), vorgetragen vom Berichterstatter, erläutert. Es bestand in der Diskussion grundsätzliche Übereinstimmung, daß Wahrscheinlichkeitsmodelle erforderlich sind, aber deren Struktur und die erforderlichen Eingabedaten noch Gegenstand weiterer Be-

Prof. Dr.-Ing. habil. *Hans Pundt* ist Wissenschaftsbereichsleiter an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik.

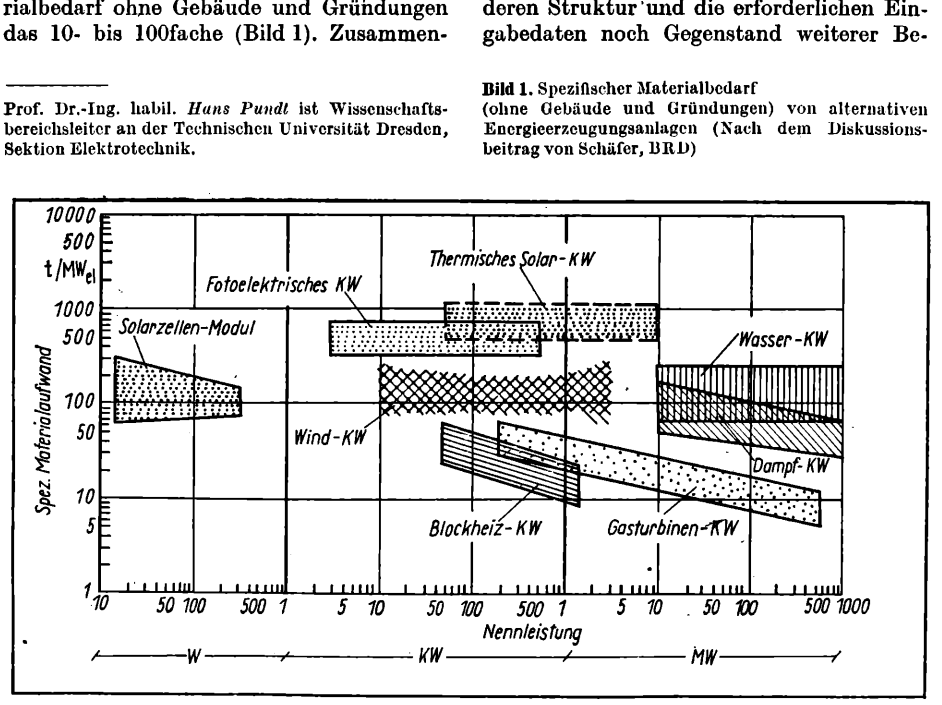


Bild 1. Spezifischer Materialbedarf (ohne Gebäude und Gründungen) von alternativen Energieerzeugungsanlagen (Nach dem Diskussionsbeitrag von Schäfer, BRD)

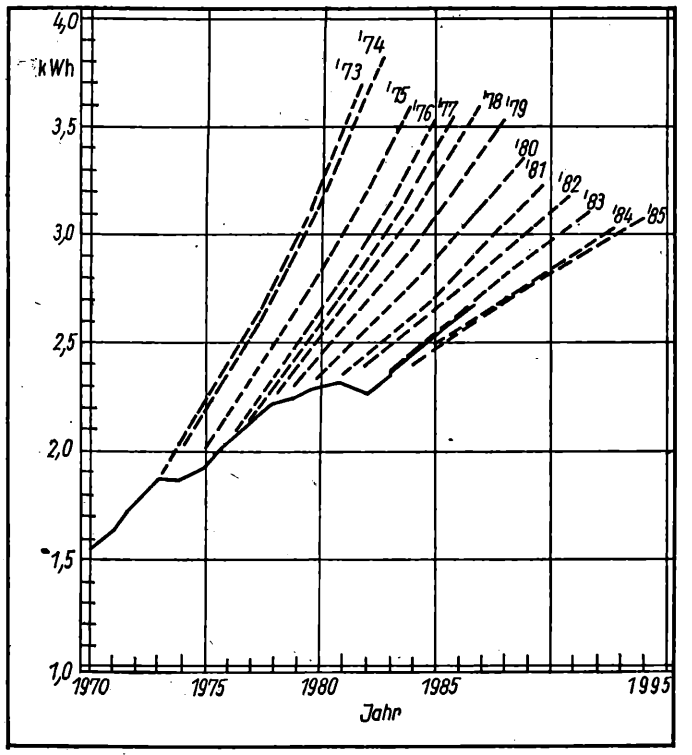


Bild 2
Bisherige Prognosen für den Elektroenergiebedarf in den USA (aus Bericht 37-06)
Parameter: Vorhersagejahr
Ordinate: 10^{12} kWh
——— aktueller Verlauf

trachtungen sein müssen. Die Entscheidungsfindung unter Aspekten der Ungewißheiten wird als notwendige Verbesserung der Systemplanung hervorgehoben.

3. Zusammenhang zwischen Planung und Betriebsführung

Durch die hohen Energiekosten in Verbindung mit großen Ungewißheiten im Bedarfswachstum werden die Planer veranlaßt, Maßnahmen der Systemsteuerung und Belastungslenkung bei der Ausbauplanung mit in Betracht zu ziehen. Die Belastungslenkung kann sowohl direkt durch Steuerung der Verbraucher (Schaltuhren, Bedarfsbegrenzer, Rundsteuerung) einschließlich Nutzung der Speicherfähigkeiten (thermische Speicherung für die Warmwasserheizung und Klimaanlagen) und der wirtschaftlichen Energieanwendung (Verbesserung der thermischen Isolierungen der Gebäude, industrielle Energieeinsparungsprozesse, Energierückspeisung beim Bremsen elektrischer Züge) erfolgen als auch indirekt durch eine spezielle zeitabhängige Tarifpolitik. Die Spitzenbelastung kann hierdurch wesentlich gesenkt werden und damit auch die erforderliche Kraftwerksleistung zur Deckung der Spitzenlast. Der Zusammenschluß zu großen Verbundsystemen einschließlich einer guten Spannungshaltung durch verstärkten Einsatz regelbarer Blindleistungserzeuger (Kondensatoren oder statische Phasenschieber) wird in diesem Zusammenhang ebenfalls als Maßnahme zur Reduktion der erforderlichen Kraftwerkskapazitäten gesehen. Im Bericht 37-01 wird ein statischer .Phasenschieber beschrieben, der gleichzeitig die Torsionsbeanspruchungen der Welle des Turbosatzes dämpfen soll, wobei allerdings die Einschaltdrehmomente nicht reduziert werden. Hierzu wurden in der Diskussion vom Berichterstatter Rechnerergebnisse an der TU Dresden vorgestellt, die eine Aussage zur Reduktion auch der Einschaltdrehmomente brachten. Im Zusammenhang mit der Belastungssteuerung wurden auch Lastabwurfstrategien diskutiert. So wurde vor allem darauf hingewiesen, daß bei einem Kostenanteil an jeder kWh von 80% im Kraftwerk und 20% für die Verteilung, der KW-Einsatz einschließlich des Einsatzes der PSW für einen optimalen Lastabwurf entscheidend ist und der Lastabwurf bei Spitzenlast und bei Fehlern im Netz zu unterschiedlichen Ergebnissen führt.

Berichte der Gr. 37

37-01: *Iravani; Mathur* (Kanada):
Anwendung von statischen Phasenschiebern zur Unterdrückung der Torsionsschwingungen von Wellen

37-02: *Ekwue* (Nigeria):
Optimierung der Zuverlässigkeit von Verteilungssystemen und Planung von Energiesystemen in Entwicklungsländern

37-03: *Hoare; Graven* (Australien):
Planung der Verstärkung eines langgestreckten 275-kV-Netzes für steigende Übertragungsaufgaben

37-04: *Harvey; Ray* (Großbritannien):
Die Rolle von Makro-Planungsmodellen bei der Systemplanung im Zusammenhang mit Ungewißheit

37-05: *Laiho; Heikkila, Karkainen* (Finnland):
Die Rolle der Elektroenergie bei der Speicherung von Energie und der Substitution von Brennstoffen in Finnland

37-06: *Vassell; Tibberts* (USA):
Planung von Energiesystemen bei Ungewißheiten

37-07: *Artemenko;* u. a. (UdSSR):
Moderne Verfahren und ökonomische mathematische Modelle für die Entwicklung der Kraftwerksleistung im Energiesystem der UdSSR

37-08: *Vinjar;* u. a. (Niederlande):
Kosten der Elektroenergie als Bezugsbasis bei der Planung des gesamten Energiesystems

37-09: *Faccinei;* u. a. (Italien):
Analytische Methoden für die Entwicklung der Energiesystem-Übertragungsfähigkeit: Eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtungsweise

37-10: *Martocchia; Nevaloro* (Italien):
Energiesystemplanung bei Ungewißheiten

EA 2353

SC 38: Analyse und Verfahren der Energiesysteme

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. *H. Pundt*

Ausgangspunkt in dieser Diskussionsgruppe war auch die ungewisse Entwicklung der letzten Jahre, die dazu führte, daß die Betreiber manchmal ein Netz steuern und regeln mußten, das sich in einem völlig anderen ökonomischen Zusammenhang bewegt als es geplant war. Dennoch sind ein sicherer Betrieb und die Qualität der Versorgung mehr denn je von großer Bedeutung. Die Analysemethoden und Verfahren für Energiesysteme zielen auf einen verbesserten ökonomischen Betrieb unter besonderer Berücksichtigung der Zuverlässigkeit, wobei es der theoretische Fortschritt (numerische Analyse, Expertensysteme usw.) und der technologische Fortschritt (wissenschaftliche und industrielle Datenverarbeitung, Überwachungs- und Steuerungssysteme. Meßverfahren usw.) heute ermöglicht, Probleme in Angriff zu nehmen, die lange Zeit unerreichbar erschienen. Große Studien zum Betrieb von Elektroenergiesystemen (z. B. Analyse von Alarm- und Gefahrensituationen) lassen ein übergeordnetes Herangehen erkennen, anstelle der Trennung in die Grundprobleme (stationärer Zustand, statische Stabilität, transiente Stabilität, Spannungsstabilität usw.). Auch die Analyse einer Reihe komplexer Situationen zeigt, daß den herkömmlichen Rechenmethoden Einschränkungen anhaften, vor allem wenn die Anzahl von Situationen bzw. Ereignissen erkennen läßt, daß man einen „Experten" benötigt, der in der Lage ist, eine Synthese aus einer großen Anzahl von Simulationsergebnissen zu ziehen oder der schnell und einfach zum Ausdruck bringt, was wichtig ist, ohne dabei erst alle möglichen Varianten durchzuspielen (Beurteilung der Zuverlässigkeit, Wiederaufbau eines großen Netzes). Die drei Vorzugsthemen beschäftigten sich näher mit diesen Problemen.

Ergebnisse:

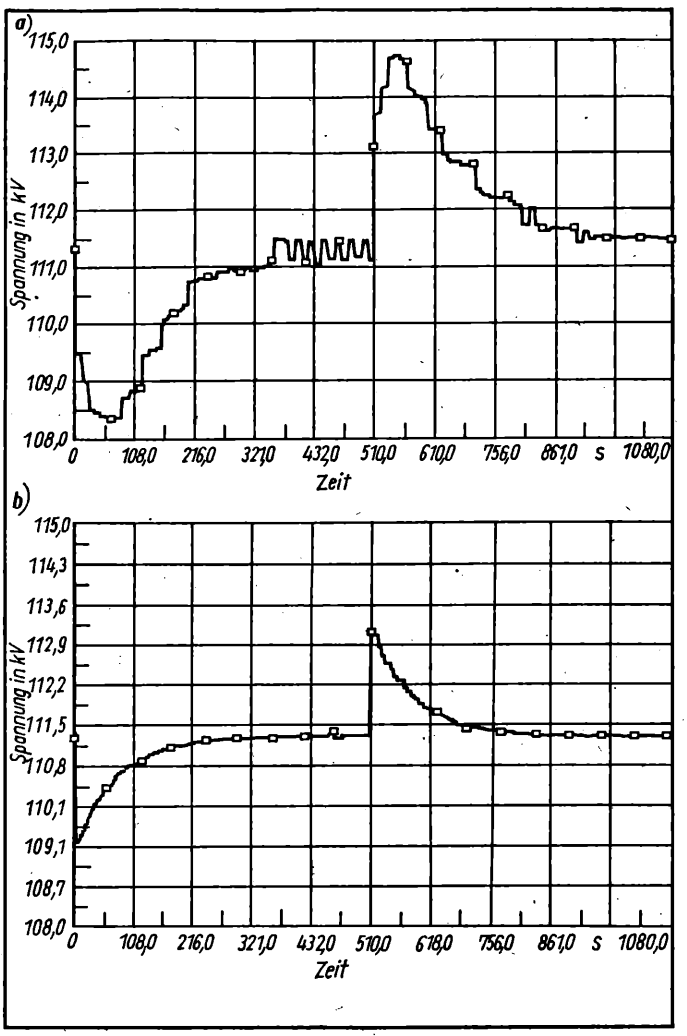
1. Methoden und Verfahren

Das 1. Vorzugsthema behandelte analytische Methoden und Verfahren zur Beurteilung und Verbesserung der Übertragungskapazität von Elektroenergiesystemen einschließlich der Grenzen der Spannungsstabilität, der Blindleistungskompensation und der Regelstrategien von HGÜ-Verbindungen, wozu 10 Berichte eingereicht wurden. Ausgehend von der Grundanforderung, daß das Elektroenergiesystem sicher sein muß, auch wenn es so nahe wie möglich an seinen Grenzen betrieben wird, beschäftigte sich der 1. Fragenkomplex mit der Verbesserung der statischen und transienten Stabilität. Die Beiträge 38-01, 38-05, 38-12 und 38-15 bestätigen u. a. die Vorteile der analytischen Methoden zur Bestimmung und Einordnung von Energiesystemstabilisatoren. Durch Zwischenschalten von Stabilisator-Signalen (Veränderungen der Ge-

Prof. Dr.-Ing. habil. *Hans Pundt* ist Wissenschaftsbereichsleiter an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik.

schwindigkeit der Maschine sowie der elektrischen oder mechanischen Leistung) wird die voreingestellte Spannung der Spannungsregler des Kraftwerkes verändert, wobei verschiedene Lösungen vorgeschlagen werden, um das Risiko von Schwingungen zu eliminieren, die durch das Messen der Rotationsgeschwindigkeit der Maschine hervorgerufen werden. Adaptive Regelstrategien werden in den meisten Netzen nicht als notwendig erachtet. Forschungen bezüglich einer koordinierten Regelung von automatischen Spannungsreglern mit Drehzahlreglern durch eine optimale multivariable Theorie machen Fortschritte. Eigenwertmethoden werden in großem Maße eingesetzt, um lokale und zwischenzonale Schwingungstypen nachzuweisen, erfordern jedoch sorgfältige Berücksichtigung der Dämpfung. Bezüglich der Berechnung der Stabilität wurde vom Berichterstatter in der Diskussion darauf hingewiesen, daß die transiente Stabilität bei unsymmetrischen Fehlern vorrangig berechnet werden sollte, weil dreipolige Fehler in Übertragungsnetzen kaum vorkommen, es jedoch wichtig ist, auch die Ausgleichsvorgänge im Netz (Ströme und Spannungen) *nach* Abschalten des Fehlers bis in den Zeitbereich von 10 s zu berechnen, um hieraus Schlußfolgerungen bezüglich möglicher Folgeauslösungen zu ziehen. Im Hinblick auf die Blindleistungskompensation in Verbindung mit der Spannungsregelung im Netz wird zunehmend ein zentraler Einsatz der Blindleistungsreserven angestrebt, wobei die Optimierung der Verteilung der Kompensationsleistung im Netz und deren optimaler dynamischer Einsatz noch untersucht wird. Zur rechtzeitigen Erkennung sich anbahnender Spannungszusammenbrüche wird ein sog. „Indikator für die Annäherung an Spannungszusammenbrüche" (Voltage Collapse Proximity Indicator) vorgeschlagen und über erste positive Ergebnisse berichtet. Für statische Blindleistungskompensatoren werden in Abhängigkeit vom Anwendungsfall verschiedene Regelparameter vorgeschlagen und zur Spannungsregelung der Einsatz einer schnellen, kontinuierlichen Primärregelung in Verbindung mit einem langsamen stufenweisen Regelungssystem. Bild 1 zeigt die Wirkung einer adaptiven sekundären Spannungsregelung beim Ab- und Zuschalten einer 400-kV-Leitung auf das Spannungsprofil. Studien zur Einführung von Algorithmen für die Steuerung von Leistungsflüssen durch Änderung der Netztopologie machen Fortschritte. Der Einsatz von Expertensystemen hierfür wird ebenfalls in Erwägung gezogen.

Bild 1
Einfluß einer adaptiven sekundären Spannungsregelung bei Leitungsschaltungen (aus Bericht 38-08)
a) ohne, und
b) mit adaptiver sekundärer Spannungsregelung



2. *Wiederaufbau von Energiesystemen*

Analytische Studien zum Wiederaufbau der Versorgung nach einer großen Störung sind ein neues und kompliziertes Gebiet der Forschung und Entwicklung, was auch aus den beiden hierzu vorgelegten Berichten 38-03 und 38-09 hervorgeht. Nach einer Großstörung ist der Zustand eines Elektroenergiesystems natürlich völlig abweichend von den normalen Betriebsbedingungen. Infolge der Störung haben sich alle technischen Eigenschaften völlig verändert (Einsatz der KW-Blöcke, Netztopologie, Lastcharakteristiken) und auch die Betriebsbedingungen sind besonderer Natur (geringere Kurzschlußleistungen, große Spannungs- und Frequenzabweichungen). Um den Wiederaufbau des Systems zu beschleunigen, werden sowohl ein erhöhtes Risiko als auch zusätzliche Betriebskosten in Kauf genommen. Auch sind besondere Probleme zu erwarten, wie Überspannungen, Ferroresonanzen, Inbetriebnahme von großen Transformatoren und Aufladen langer Leitungen. Es ist vorgesehen, die Anzahl von Handlungen beim Wiederaufbau des Betriebes zu minimieren. Über Erfahrungen bei großen black-outs wurde berichtet und festgestellt, daß noch ein Mangel an Daten besteht, wenn ein black-out auftritt. Da die klassischen Modelle für diese extremen Bedingungen nicht immer geeignet sind, werden spezielle Verfahren, möglicherweise Expertensysteme erforderlich.

3. *Modellierung von Generatoren, Regelsystemen und Lasten*

Die Einstellung von Stabilisierungseinrichtungen für Turbogeneratoren basiert auf einer präzisen Modellierung des Generators und seines Erregersystems. Während einige Berichte (38-10 und 38-11) darauf verweisen, daß die jetzigen Simulations- und Testverfahren die Generatoren und deren Umgebung zufriedenstellend darstellen, wird im Bericht 38-15 hierzu auf die Eigenwertanalyse zur Bestimmung der Frequenzen von elektromechanischen Schwingungen, die Kohärenzanalyse zur Erkennung von Generatorengruppen zur Systemreduzierung und Einstellung der Stabilisatoren sowie die Zeitbereichsanalyse zum Nachweis der Notwendigkeit und Effektivität von Dämpfungsmaßnahmen verwiesen. Durch den Anstieg der Leistungsfähigkeit der Computer wird die Anwendung von Äquivalentierungsverfahren als überflüssig angesehen. Für eine rechnergestützte Stabilitätsbewertung in Echtzeit werden jedoch Äquivalentierungsmethoden angewendet. Externe Äquivalente werden aus praktischen Gründen eingesetzt. Die erforderliche Reduktion wird mittels spezieller Algorithmen oder von Experten vorgenommen. Zur Simulation von schnellen Vorgängen über einen langen Zeitbereich wird eine Variation des Integrationsschrittes erfolgreich angewandt. Der Asynchronbetrieb wird in vielen Ländern auch bei großen Blöcken in Betracht gezogen. Im Bericht 38-11 wird über gute Übereinstimmungen der Simulation des Asynchronlaufes eines 600-MW-Turbosatzes mit Meßergebnissen berichtet. Bezüglich der beim Asynchronlauf auftretenden Beanspruchungen des Turbosatzes wird in Übereinstimmung von Rechnerergebnissen und praktischen Versuchen festgestellt, daß die Rotorerwärmung die kritischste Beanspruchung darstellt. Die WG 38.02 (Dynamik und Analyse des Energiesystems) behandelt u.a. auch das schwierige Problem der Modellierung der Lasten bei dynamischen Vorgängen.

Der Bericht 38-17 schlägt ein Lastmodell vor, daß die Abhängigkeit von der Spannung, der Frequenz und der Zeit, die seit der Störung verstrichen ist, berücksichtigt. Dieses Modell wird für die statische Stabilität und das Studium langsamer Ausgleichs-

vorgänge benutzt. In der Diskussion wurde ein empirisches Modell vorgestellt, das die *P-U-* und *Q-U*-Charakteristiken mit Polynomen verschiedener Ordnung modelliert, wobei auch Betriebsmittel mit Eisensättigung besonders berücksichtigt werden. Die Anwendung dieses Verfahrens zeigte für 17 verschiedene Gruppen von Verbrauchern im englischen Netz gute Übereinstimmung mit gemessenen Verläufen. Sehr aufschlußreich ist die Analyse der Großstörung in Schweden am 27. 12. 1983 im Bericht 38-18. Der Bericht zeigt aber auch auf, daß eine nachträgliche Simulation eines derartigen Netzzusammenbruchs eine genaue Modellierung des gesamten Energiesystems erfordert und bestätigt, daß die normalerweise im Betrieb vorhandenen Aufzeichnungssysteme nicht genügend Informationen liefern, um die genauen Zustände und Abläufe bestimmen zu können. In der Diskussion wird von Störungsaufzeichnungen in Echtzeit berichtet, wobei für die Aufzeichnung von Ausgleichsvorgängen eine Abtastzeit von 0,1 s verwendet wird und eine Funksynchronisation erfolgt. Interessant ist auch der Vorschlag einer schnellen Spannungsstabilisierung im Netz zur Vermeidung von Spannungszusammenbrüchen in Echtzeit durch eine schnelle Lastflußberechnung und Analyse der Spannungen in allen Knotenpunkten des Netzes.

Berichte der Gr. 38

38-01: *Lee, K.* (Kanada):
Fortgeschrittene Erregerregelungen zur Erhöhung der Stabilität von Energiesystemen

38-02: *Ekwue* (Nigeria):
Entwicklung von Algorithmen zur Sicherheitserhöhung von HDÜ-HGÜ-Systemen

38-03: *Susumago;* u. a. (Japan):
Entwicklung von Echtzeitsimulationsmethoden zum Wiederaufbau von Energiesystemen nach Großstörungen

38-04: *Grainger;* u. a. (Australien):
Analytische Verfahren zur Anwendung von statischen Blindleistungskompensatoren zur Erhöhung der Kapazität von langen Übertragungsleitungssystemen in entfernte Gebiete Australiens

38-05: *Mello;* u. a. (USA):
Entwicklung bei der Anwendung von stabilisierenden Maßnahmen durch die Erregerregelung

38-06: *Modlitba;* u. a. (CSSR):
Analytische Methoden zur Erhöhung der Übertragungsfähigkeit von Energiesystemen im Hinblick auf die Spannungsstabilität

38-07: *Hanson; Smith* (Irland):
Definierung und Einführung von Übertragungsgrenzen – Eine parametrische Studie

38-08: *Ernoult;* u. a. (Frankreich):
Blindleistungskompensation und Spannungsregelung im französischen Höchstspannungssystem – Bewertung und Perspektiven

38-09: *Popovic; Djukanovic* (SFRJ):
Ein Schritt zur dynamischen Sicherheitsanalyse des Energiesystems im Hinblick auf Großstörungen

38-10: *Bayer;* u. a. (BRD):
Simulation von elektromechanischen Ausgleichsvorgängen von Turbogeneratoreinheiten in Verbund- und Inselnetzen. Vergleich von Systemmessungen und rechnerischen Ergebnissen

38-11: *Creek;* u. a. (Großbritannien):
Asynchronlauf eines 600-MW-Generatorsatzes im ESCOM-System:
Modellierung, Berechnung und Versuche

38-12: *Chen Shu-Zhen* (China):
Einsatzort und Anwendung von Stabilisatoren in Nordwest-China, Planung und Entwurf

38-13: *Chapman;* u. a. (Kanada):
Balu; u. a. (USA):
Regelmodelle für Mehrpunkt-HGÜ zur Abschätzung der Übertragungsfähigkeit in kombinierten HDÜ/HGÜ-Systemen

38-14: *Flatab;* u. a. (Niederlande):
Der Einfluß der Verteilung der Blindleistungsreserve auf die Übertragungsfähigkeit. Eine Studie für das norwegische Hochspannungsnetz

38-15: *Brauner;* u. a. (BRD):
Zusammenarbeit von Generatoren mit Energiesystemstabilisatoren in großen Netzen

38-16: *Borremanns; van Ranst* (Belgien):
Ein übergeordnetes Stabilitätskriterium für lange HDÜ-Übertragungen mit statischer Blindleistungskompensation

38-17: *Curevitch; Libova* (UdSSR):
Charakteristiken von Energiesystemlasten und ihre Verwendung im Systembetrieb

38-18: *Walve* (Schweden):
Modellierung der Komponenten des Energiesystems bei schweren Störungen

EA 2354

BUCHER

Turbo-Pascal

Das Kompendium für die Programmierpraxis.

Von *H.-G. Joepgen.* München, Wien: Carl Hanser Verlag 1985. 421 Seiten, Broschur.

TURBO-PASCAL ist ein von Borland International vertriebenes Programmiersystem, dessen Kern die Programmiersprache PASCAL umschließt, wie sie im Pascalbericht fixiert ist. Es gibt zwar geringfügige Einschränkungen, sie dürften aber nur einem erfahrenen Programmierer auffallen. Standard-PASCAL wurde durch einige maschinennahe Typen, durch Konvertierungsfunktionen und ein der Dialogarbeit angepaßtes Ein- und Ausgabekonzept erweitert.
Der Autor hat das Buch so angelegt, daß es auch Leser ohne Vorkenntnisse in Informationsverarbeitung nicht abschreckt. Die Schwierigkeiten, die im Stoff selbst liegen, lassen sich jedoch auch durch eine lockere Ausdrucksweise und journalistische Aufmachung nicht beseitigen. Was an Terminologie neu eingeführt wird, erscheint in den meisten Fällen nicht besser als das Bisherige. Wo es konkret wird, vor allem in den Beispielen, enthält das Buch reichlich Information über das Programmiersystem, allerdings ist diese Information in sehr viel Text versteckt. Derjenige, der den Umgang mit formalen Syntaxdarstellungen gewohnt ist, vermißt eine solche Zusammenfassung. Es werden durchgehend instruktive Beispiele benutzt, wobei man das Gefühl hat, daß insbesondere die TURBO-spezifischen Sprachelemente bevorzugt sind. Da „klassische" PASCAL-Literatur reichlich vorhanden ist, ist diese Haltung gerechtfertigt. Zu dem Buch gehören drei Disketten mit Beispielen. Wenn die Beispiele auf diesen Disketten hinsichtlich ihres Informationsgehalts ebenso gut sind wie die im Buch verwendeten, so sind sie für den Lernenden sicherlich sehr nützlich. Eine Anleitung zum Arbeiten mit diesen Disketten wird in dem Buch gegeben.
Das Programmiersystem TURBO-PASCAL ist zweifellos sehr leistungsfähig. Es ist ein hervorragendes Programmierwerkzeug zur Entwicklung von CAD/CAM-Arbeitsplätzen für unterschiedliche Arbeitsgebiete (TURBO-PASCAL enthält auch bequeme Möglichkeiten für Bildschirmgrafik). Es ist für Programmentwicklung (Quelltexterzeugung und Testung) überaus anwenderfreundlich. Mit Programmentwicklung beschäftigte Ingenieure, Techniker und Programmierer können sich an Hand dieses Buches in die Sprache und die Technologie ihrer Benutzung qualifiziert einarbeiten.

G. Paulin, Berlin EA 2397

Die folgenden drei Kurzberichte werden im Heft 3/87 veröffentlicht.

SC 14; Gleichstrom-Verbindungen
Berichterstatter: Dr. sc. techn. *W. Hauschild*

SC 37/38/39; Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. *H. Pundt*

SC 39; Betrieb und Regelung von Energiesystemen
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. *H. Pundt*

Die Redaktion

Software-Engineering. ARS-Technologie.

Von *M. Engelien; H. Stahn.* Berlin: Akademie-Verlag 1984. 275 Seiten, 120 Bilder, Broschur 36,— Mark

Die ständig zunehmende Verfügbarkeit von Mikrorechnersystemen hat die wirtschaftliche Realisierung von Ein- und Mehrprozessor-Steuerungen möglich gemacht. Dies führt zwangsläufig zu stark anwachsenden Softwareproduktionsaufgaben. Die Autoren sehen es deshalb als dringend erforderlich an, die Produktivität der Softwareproduktion zu verbessern. Als einen Beitrag zur Lösung dieser Probleme stellen die Autoren die Technologie der Allgemeinen und Rekursiven Strukturierung vor.
Obwohl sich die Autoren an alle wenden, die sich mit Informationsverarbeitungen und Steuerungen beschäftigen, ist der Gewinn doch für jene Leser größer, die die mengentheoretisch-algebraische Sprache der Allgemeinen Kybernetik beherrschen, da damit die Darstellung der ARS-Technologie erfolgt.
Das Erscheinen dieses Buches ist zu begrüßen, weil mit der Durchsetzung der datenflußorientierten Vorgehensweise zu Recht ein Zuwachs an Qualität und Produktivität im Software-Engineering erwartet werden kann.

M. Weiß, Ilmenau EA 2396

Wolff, J.: **Spreading Effect of Increases of Luminous Efficiency of Light Sources**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, pp. 4–6, 2 Figs., 1 Table, 3 Equations, 6 Refs.

In the past the luminous efficiency of the light sources has been increased continuously for tens of years, and it will be increased also in the future. By means of theoretical models the process of shifting from existing lighting outlets to new light sources and with it the effecting for the saving in energy may be computed.

Вольф, Й.: О широком воздействии повышения светоотдачи источников света

ELEKTRIE, Берлин 41 (1987) 1, стр. 4–6, 2 рис., 1 табл., 3 уравн., 6 лит.

Светоотдача источников света за последние десятилетия постоянно повышалась и будет повышаться и в перспективе. С помощью теоретических модельных представлений обеспечивается возможность расчета процесса перевода существующих светильников на новые источники света и, тем самым, получаемой от этого экономии электроэнергии.

Steldinger, G.; Bürgel, R.: **A New Reflector Headlight from the Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, p. 7, 2 Figs.

In the Kombinat VEB Narva „Rosa Luxemburg" the high-power reflector headlight N 1000 PH was developed for the crest mirrored projection lamp C4 24 V/1000 W, adapted to using in stage areas. After briefly illustrating the application area the device with all its technical and light-technical parameters is represented.

Штельдингер, Г.; Бюргель, Р.: Новый зеркальный прожектор из комбината ФЭБ НАРВА им. Р. Люксембург

ELEKTRIE, Берлин 41 (1987) 1, стр. 7, 2 рис.,

В комбинате ФЭБ НАРВА им. Р. Люксембург разработан для освещения сцены мощный зеркальный прожектор, предназначенный для применения в составе прожекторной лампы с зеркальной колбой C4 24 V/100 W. После краткого рассмотрения области применения представляется прибор со всеми техническими и светотехническими параметрами.

Schade, P.; Serger, K.; Sämisch, H.: **Material Problems in Developing New Light Sources**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, pp. 8–11, 9 Figs., 1 Table, 16 Refs.

The properties of tungsten, known through the science of metals, and its influencing through gas bubbles are discussed with taking into consideration important parameters and the correlations of the tungsten with the gas phase within halogen lamps. The most important material parameters are illustrated, which are influencing the erosion resistance of tungsten electrodes within discharge lamps.

Шаде, П.; Зергер, К.; Зэмиш, Х.: Проблемы материалов при разработке новых источников света

ELEKTRIE, Берлин 41 (1987) 1, стр. 8–11, 9 рис., 1 табл., 16 лит.

Обсуждаются металловедческие свойства вольфрама и влияние на них газовых пузырков с учетом важных параметров и взаимодействий вольфрама и газовой фазы в галогенных лампах. Представляются важнейшие параметры материалов, оказывающие влияние на сопротивление эрозии вольфрамовых электродов в разрядных лампах.

Bruseburg, R.; Harnisch, W.: **Electronic Supply Unit for Halogen Low-Voltage Lamps 12 V/50 W**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, pp. 11–13, 2 Figs.

In this contribution the construction, the operating mode, and the function of an electronic supply unit for halogen low-voltage lamps are illustrated. Circuiting details are discussed, and to fundamental advantages of such a power supply equipment is hinted. Construction principles are illustrated, resulting from the high temperatures, caused by the lamp.

Брузебург, Р.; Харниш, В.: Электронный источник питания для низковольтных галогенных ламп

ELEKTRIE, Берлин 41 (1987) 1, стр. 11–13, 2 рис.

В статье рассматриваются построение, принцип действия и функционирование электронного источника питания для низковольтных галогенных ламп. Приводятся детальные схемные решения и отмечаются принципиальные преимущества такого источника питания. Обсуждаются принципы конструирования, обусловленные высокими температурами вызванными лампой.

Heinze, J.; Scheckenreuter, B.; Streibel, G.: **Reprocessing Double-Pipe Lamps**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, pp. 13–14, 3 Refs.

New flourescent Lamps of compact design contain luminescent material with noble earths. To recovering the luminescent material from production waste respectively waste lamps two methods are represented; in one method a component recovering shall be reached. Price problems, effects to the environment, and problems of the mercury are discussed.

Хайнце, Й.; Шеккенройтер, Б.; Штрайбель, Г.: Повторная переработка двойно-трубчатых ламп

ELEKTRIE, Берлин 41 (1987) 1, стр. 13–14, 3 лит.

Новые люминесцентные лампы с плотной конструкцией содержат люминофор с редкими землями. Для рекуперации люминофора из производственных отходов или старых ламп представляются метода; при одном из них предусмотрено обратное получение элементов конструкции. Обсуждаются проблемы цен, влияние на окружающую среду и проблемы, связанные с ртутью.

Sonnenburg, R.; Gündel, H.: **Dynamic Modelling of Fluorescent Lamp Plasmas**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, pp. 15–16, 5 Figs., 1 Table, 3 Equations, 4 Refs.

A theoretical model of numerically simulating the fluorescent lamp plasmas with considering the electrical wiring is represented. By means of some results, following from computations for alternating current of 50 Hz, it is pointed out, that the model describes all electrical parameters in a qualitatively and quantitatively satisfying manner, both time-resolved and time-averaged.

Зонненбург, Р.; Гюндель, Х.: Динамическое моделирование плазм люминесцентных ламп

ELEKTRIE, Берлин 41 (1987) 1, стр. 15–16, 5 рис., 1 табл., 3 уравн., 4 лит.

Представляется теоретическая модель для цифрового моделирования плазм люминесцентных ламп с учетом электрической схемы подключения. На примере нескольких результатов, полученных из расчета при переменном токе с частотой 50 Гц доказывается, что данная модель как в качественном, так и в количественном отношениях удовлетворительно описывает все электрические параметры как временно дискретно, так и усреднено по времени.

Wolff, J.: **Zur Breitenwirkung der Lichtausbeute-Erhöhungen von Lichtquellen**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, S. 4 – 6, 2 Bilder, 1 Tafel, 3 Gln., 6 Lit.

Die Lichtausbeute der Lichtquellen ist in den vergangenen Jahrzehnten ständig erhöht worden und wird zukünftig weiter erhöht. Mit Hilfe von theoretischen Modellvorstellungen kann der Prozeß der Umstellung vorhandener Brennstellen auf neue Lichtquellen und damit das Wirksammachen für die Energieeinsparung berechnet werden.

Steldinger, G.; Bürgel, R.: **Ein neuer Spiegelscheinwerfer aus dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, S. 7, 2 Bilder

Im Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg" wurde für den Bühnenbereich der Hochleistungsspiegelscheinwerfer N 1000 PH für die kuppenverspiegelte Lichtwurflampe C4 24 V/1000 W entwickelt. Nach einer kurzen Erläuterung des Einsatzbereiches wird das Gerät mit allen technischen und lichttechnischen Parametern vorgestellt.

Schade, P.; Serger, K.; Sämisch, H.: **Werkstoffprobleme bei der Entwicklung neuer Lichtquellen**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, S. 8 – 11, 9 Bilder, 1 Tafel, 16 Lit.

Die metallkundlichen Eigenschaften des Wolfram und ihre Beeinflussung durch Gasblasen werden unter Berücksichtigung wichtiger Parameter und der Wechselwirkungen des Wolfram mit der Gasphase in Halogenlampen diskutiert. Die wichtigsten, den Erosionswiderstand von Wolframelektroden in Entladungslampen beeinflussenden Werkstoffparameter werden dargestellt.

Bruseberg, R.; Harnisch, W.: **Elektronisches Netzteil für Halogenniedervoltlampe 12 V/50 W**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, S. 11 – 13, 2 Bilder

In dem Beitrag wird der Aufbau, die Wirkungsweise und die Funktion eines elektronischen Netzteils für Halogenniedervoltlampen erläutert. Es wird auf Schaltungsdetails eingegangen und auf prinzipielle Vorteile einer solchen Stromversorgungseinrichtung hingewiesen. Konstruktionsprinzipien, die sich durch die hohen Temperaturen – hervorgerufen durch die Lampe – ergeben, werden erörtert.

Heinze, J.; Scheckenreuter, B.; Streibel, G.: **Wiederaufbereitung von Doppelrohrlampen**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, S. 13 – 14, 3 Lit.

Neue Leuchtstofflampen in kompakter Bauform enthalten Leuchtstoff mit seltenen Erden. Zur Rückgewinnung des Leuchtstoffes aus Produktionsabfall bzw. aus Altlampen werden zwei Verfahren vorgestellt; bei dem einen ist eine Bauteilrückgewinnung vorgesehen. Preisprobleme, Einwirkung auf die Umwelt und Probleme des Quecksilbers werden diskutiert.

Sonnenburg, R.; Gündel, H.: **Dynamische Modellierung von Leuchtstofflampenplasmen**

ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 1, S. 15 – 16, 5 Bilder, 1 Tafel, 3 Gln., 4 Lit.

Es wird ein theoretisches Modell zur numerischen Simulation von Leuchtstofflampenplasmen unter Berücksichtigung der elektrischen Beschaltung vorgestellt. An einigen Ergebnissen, die aus Rechnungen für 50 Hz Wechselstrom erhalten wurden, wird gezeigt, daß das Modell alle elektrischen Parameter, sowohl zeitaufgelöst als auch zeitgemittelt, qualitativ und quantitativ befriedigend beschreibt.

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2870 0; Telex: 0 11 22 28 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Gestalter	*Eckhardt Natorp* (Telefon: 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis virteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11 a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače, Posta 022, 885 47 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D.E.P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 20

Dieses Buch bietet erstmalig einen Überblick über Wirkprinzipien, Stand und Perspektiven elektrotechnologischer Verfahren und deren Anwendung für Fertigungs-, Verfahrens- und Verarbeitungstechnik!

Elektrotechnologie

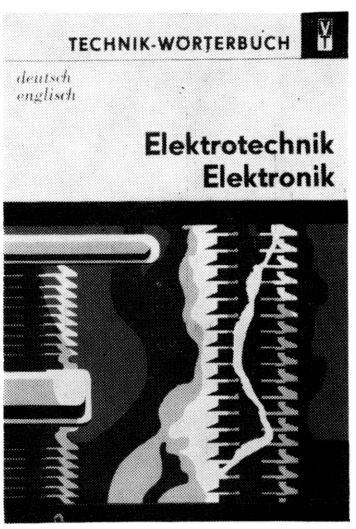
Herausgegeben von Prof. Dr. sc. techn. Harry Conrad und Prof. Dr.-Ing. Reinhold Krampitz. 400 Seiten, 305 Bilder, 85 Tafeln, Kunstleder, DDR 38,— M, Ausland 50,— DM. Bestellangaben 553 221 1/Conrad, Elektrotechnologie

In einer Übersicht über die Gesamtheit der elektrotechnologischen Verfahren und ihre technische Anwendung wird gezeigt, welche Verfahren für die Fertigungs-, Verfahrens- und Verarbeitungstechnik prinzipiell einsetzbar sind, wie sie sich voneinander unterscheiden und wodurch sie sich in technisch-ökonomischer Sicht auszeichnen. Danach werden für elektrothermische, Elektrostrahl-, elektrochemische und elektromechanische Verfahren die physikalisch-verfahrenstechnischen Grundlagen dargelegt, die wichtigsten technologischen Anwendungen aufgezeigt, die anlagentechnische Realisierung einschließlich der Automatisierung beschrieben und es wird ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen gegeben.

Das Buch wird benötigt

— als Nachschlagewerk und zur Ausbildung für in Entwicklung und Technologie tätige Ingenieure und Wissenschaftler
— als Grundlage für die verstärkte Anwendung und zur Unterstützung bei der Auswahl elektrotechnologischer Verfahren
— als Grundlage für die Ausbildung von Ingenieuren der Elektrotechnik, des Maschinenbaus und der Verfahrenstechnik an Hoch- und Fachschulen.

Die wissenschaftlich-technischen Grundlagen sind gründlich herausgearbeitet und entsprechend dem internationalen Stand des Wissens dargestellt. Für die wichtigsten Anwendungen werden die technologischen Bedingungen und die Anlagengestaltung, durch zahlreiche Bilder und Tabellen unterstützt, vergleichend erläutert. Stoffauswahl und Darstellung sind auf praktische Anwendung zugeschnitten. Ein umfangreiches Literaturverzeichnis erleichtert das Quellenstudium bei speziellen Fragen.



Lieferbar in zweiter Auflage

Deutsch—Englisch

Herausgegeben von Prof. Dr. sc. techn. Peter-Klaus Budig. Zusammengestellt von einem Autorenkollektiv. 700 Seiten, Kunstleder, DDR 55,— M, Ausland 98,— DM. Bestellangaben: 553 113 9/Budig, Wb. Elektro D-E

Mit etwa 60000 Wortstellen aus allen Gebieten der Elektrotechnik einschließlich der Elektronik und Nachrichtentechnik

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 41 (1987) 1 · S. 1—40

6730 8 177 927 469
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 PF 1

Auslieferung in diesen Tagen

Bedienungs- und Instandhaltungsanleitungen

Inhalt — Form — Gestaltung

Von Prof. Dr. sc. techn. Georg-Wilhelm Werner und Dr.-Ing. Wolfgang Heyne. 1. Auflage. 128 Seiten, 160 Bilder, 20 Tafeln, Broschur, DDR 13,— M, Ausland 18,— DM.
Bestellangaben: 553 442 8/Werner, Anleitungen

Die Autoren geben eine methodische Anleitung zur richtigen Inhaltswahl, rationellen Erarbeitung und zweckmäßigen Gestaltung aussagekräftiger Bedienungs- und Instandhaltungsanleitungen für technische Erzeugnisse. Checklisten und Sachwörtertabellen gewährleisten, daß beim Verfassen solcher Anleitungen von „Was" und „Wie" nichts vergessen wird. Eine umfangreiche Falldiskussion zeigt gelungene und weniger gelungene Beispiele.

Abschätzung der Genauigkeit von Meßergebnissen

Von Prof. em. Dr. rer. nat. Paul Täubert. 2., bearbeitete Auflage. 76 Seiten, 15 Bilder, 14 Tafeln, Broschur, DDR 8,— M, Ausland 14,— DM.
Bestellangaben: 553 714 3/Täubert, Meßergebnisse

Ein vollständiges Meßergebnis muß Angaben über die Meßunsicherheit enthalten. Die Broschüre vermittelt in einer für den Praktiker zugeschnittenen Form diejenigen Kenntnisse, die notwendig sind, um die dazu erforderlichen Berechnungen und Abschätzungen durchzuführen (Varianz, Standardabweichung, Vertrauensgrenzen usw.).

Gegenüber der 1. Auflage wurde das Verfahren zur Zusammenfassung der Vertrauensgrenzen zur Meßunsicherheit durch ein moderneres ersetzt; das Bayessche Problem wurde zusätzlich aufgenommen.

Taschenbuch Elektrotechnik in sechs Bänden

Band 5: Elemente und Baugruppen der Elektroenergietechnik

Herausgegeben von Prof. Dr. sc. techn. Dr. techn. h. c. Eugen Philippow. 2., unveränderte Auflage. 972 Seiten, 920 Bilder, 285 Tafeln, Kunstleder, DDR 30,— M, Ausland 53,— DM.
Bestellangaben: 552 826 3/Tb. Elektro 5

Gliederung: Elektrische Maschinen . Elektrische Antriebe . Elektrische Apparate . Meß-, Schutz- und Steuereinrichtungen der Elektroenergietechnik . Leistungselektronik.

Gerätekonstruktion

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Krause. 2., stark bearbeitete Auflage. 672 Seiten, 519 Bilder, 232 Tafeln, Leinen, DDR 49,— M, Ausland 60,— DM.
Bestellangaben: 553 624 7/Krause, Geräte

An Funktion, Wirtschaftlichkeit und Qualität gerätetechnischer Erzeugnisse werden ständig höhere Forderungen gestellt, die nur durch moderne Konstruktionsmethoden zu realisieren sind. Das Buch stellt die Baugruppen- und Gerätekonstruktion für den feinmechanischen, optischen und elektronischen Gerätebau geschlossen dar. Es folgt den Lehrprogrammen für gerätetechnisch orientierte Studienrichtungen an Hoch- und Fachschulen.
Neu in dieser stark bearbeiteten Auflage sind Abschnitte über automatisierungsgerechte Gestaltung, Leiterplattenkonstruktion, optoelektronische Funktionsgruppen und Antriebe zur linearen Positionierung.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN